



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TM091585**

**PENGARUH VARIASI ARAH SERAT DAN JUMLAH  
LAYER TERHADAP KARAKTERISTIK *BENDING* DAN  
*TORSIONAL STIFFNESS* KOMPOSIT SANDWICH SERAT  
KARBON DENGAN CORE KAYU BALSA**

ASTASARI  
2112100053

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM091585

**PENGARUH VARIASI ARAH SERAT DAN  
JUMLAH *LAYER* TERHADAP KARAKTERISTIK  
*BENDING* DAN *TORSIONAL STIFFNESS*  
KOMPOSIT *SANDWICH* SERAT KARBON  
DENGAN *CORE* KAYU BALSA**

ASTASARI  
NRP. 2112100053

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TM091585

# **THE EFFECT OF FIBER ORIENTATION AND LAYERS TO ITS BENDING AND TORSIONAL CHARACTERISTICS OF CARBON FIBER SANDWICH COMPOSITE WITH BALSA WOOD CORE**

ASTASARI  
NRP. 2112100053

Academic Advisor  
Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017

**PENGARUH VARIASI ARAH SERAT DAN JUMLAH  
LAYER TERHADAP KARAKTERISTIK *BENDING*  
DAN *TORSIONAL STIFFNES* KOMPOSIT  
*SANDWICH* SERAT KARBON DENGAN *CORE*  
KAYU BALSA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Oleh:**

**Astasari**

NRP. 2112 100 053

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:**

1. Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T..... (Pembimbing)  
(NIP.197407032000031001)
2. Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D..... (Penguji I)  
(NIP.198005202005011003)
3. Indra Sidharta, S.T., M.Sc..... (Penguji II)  
(NIP.198006192006041004)
4. Wahyu Wijanarko, S.T., M.Sc..... (Penguji III)  
(NIP.198202092012121001)

**SURABAYA**

**Januari, 2017**

**PENGARUH VARIASI ARAH SERAT DAN JUMLAH  
LAYER TERHADAP KARAKTERISTIK *BENDING*  
DAN *TORSIONAL STIFFNESS* KOMPOSIT  
SANDWICH SERAT KARBON DENGAN *CORE*  
KAYU BALSA**

**Nama Mahasiswa** : Astasari  
**NRP** : 2112 100 053  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur terdiri dari dua *flat* komposit dan *core*. Tujuan dari penggunaan komposit adalah untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan material penyusunnya. Selama ini, *core* yang biasa digunakan adalah *polyurethane*, *PVC foam*, dan *honeycomb*. Namun material yang digunakan sebagai *core* memiliki harga yang mahal dan tidak ramah lingkungan. Maka *core* yang berasal dari alam sedang dikembangkan, misalnya kayu balsa. Aplikasi dari komposit *sandwich fiber carbon* dengan *core* kayu balsa ini seperti pada *chassis* kendaraan.

Penelitian dilakukan dengan mensimulasikan spesimen yang terbuat dari *fiber carbon woven* sebagai *skin* dan kayu balsa sebagai *core* kedalam *finite element software*. Model spesimen memiliki ukuran 50x500x10 mm. Dilakukan simulasi uji *bending* dengan gaya yang diberikan sebesar 1581,8 N dan simulasi uji torsi dengan torsi sebesar 126 N.m. menggunakan 6 variasi jumlah *layer* dan 3 variasi arah serat, yaitu 0°, 30°, dan 45°. Setelah simulasi, dilakukan eksperimen pengujian *bending* dan torsi dengan spesimen yang paling optimal.

Pada simulasi pengujian *bending*, nilai deformasi terkecil terjadi pada komposit *sandwich* 10 *layer* arah serat 45° sebesar 0.39637 mm dan nilai maksimum tegangan *principal* terendah

pada spesimen komposit *sandwich* 10 layer arah serat  $0^\circ$  sebesar 3.3429 Mpa. Pada simulasi pengujian torsi, nilai deformasi terkecil terjadi pada komposit *sandwich* 10 layer arah serat  $0^\circ$  sebesar 0.15256 mm dan nilai tegangan ekuivalen *Von-Mises* terendah pada spesimen komposit *sandwich* 10 layer arah serat  $45^\circ$  yaitu sebesar 11.033 MPa. Berdasarkan arah serat, jumlah layer, dan nilai *torsional stiffness*, spesimen yang paling optimal adalah komposit *sandwich* 10 layer arah serat  $45^\circ$  dengan nilai *torsional stiffness* sebesar 1712.65 Nm/deg.

**Kata kunci:** *Bending, Kayu Balsa, Komposit Sandwich, Serat Karbon, Torsional Stiffness*

# **THE EFFECT OF FIBER ORIENTATION AND LAYERS TO ITS BENDING AND TORSIONAL CHARACTERISTICS OF CARBON FIBER SANDWICH COMPOSITE WITH Balsa wood CORE**

**Name** : Astasari  
**NRP** : 2112 100 053  
**Department** : Mechanical Engineering  
**Department, ITS Surabaya**  
**Academic Advisor** : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Sandwich Composite is one type of composite structure consisting of two flat composites and cores. The purpose of using composites is to obtain better mechanical properties than its constituent materials. So far, the cores that normally used are polyurethane, PVC foam, and honeycomb. However, the material that used as the core is expensive and not environmentally friendly. So, the core of natural origin is being developed, such as balsa wood. Application of this sandwich composite is for vehicle chassis.

The study was conducted by simulating the specimens made of carbon fiber woven as the skin and balsa wood as the core using finite element software. The specimen is modeled with the dimensions 50x500x10 mm. The bending and torsional test simulation was done with a given force 1581.8 N and a given torque 126 N.m. The variation of additional layer is given by using 6 variations number of layers and 3 variations of fiber orientation, 0°, 30°, and 45°.

In bending test simulation, the smallest total deformation is 0.39637 mm, it is occurs in the sandwich composite which has 10 layers and 45° of fiber orientation and the lowest maximum principal stress value is 3.3429 MPa, it is occurs in the sandwich

composite which has 10 layers and  $0^\circ$  of fiber orientation. In torsional test, the smallest total deformation is 0.15256 mm, it is occurs in the sandwich composite which has 10 layers and  $0^\circ$  of fiber orientation and the lowest equivalent stress value of Von-Mises is 11.033 MPa, it is occurs in the sandwich composite which has 10 layers and  $45^\circ$  of fiber orientation. Based on the fiber orientation, number of layers, and torsional stiffness, the most optimal specimen in bending and torsion test simulation is a sandwich composite which has 10 layers and  $45^\circ$  of fiber orientation with 1712.65 Nm/deg as the value of torsional stiffness.

**Keywords: Bending, Balsa Wood, Fiber Carbon, Sandwich Composite, Torsional Stiffness**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH VARIASI ARAH SERAT DAN JUMLAH LAYER TERHADAP KARAKTERISTIK *BENDING* DAN *TORSIONAL STIFFNESS* KOMPOSIT SANDWICH SERAT KARBON DENGAN CORE KAYU BALSA”**

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Gunawan Wibisana, Endang Prasanti, Sandhya Putra,** dan **Lalitudevi** selaku keluarga penulis yang selalu mendukung baik dari segi finansial dan semangat moral dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.** selaku dosen pembimbing yang selalu meluangkan waktu, memberikan kritik, saran, dan motivasi baik selama proses persiapan seminar proposal Tugas Akhir maupun sidang Tugas Akhir.
3. **Indra Sidharta, S.T., M.Sc., Wahyu Wijanarko, S.T., M.Sc.,** dan **Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.** selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan masukan agar Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik.
4. **Gani Maustofah** dan **Ahmat Safaat** selaku *fiber carbon squad* atas dukungan dan bantuan selama pengerjaan Tugas Akhir ini, meskipun seringkali penulis merepotkan mereka.
5. **Muhtadi Setyanto**, seseorang yang mengingatkan penulis bahwa sesuatu yang berharga tidak didapatkan dengan mudah.
6. **Pak Bambang, Mas Gagan, Mas Jimmy, Bima, Mas Dio, Bulek, Fuad** dan seluruh keluarga besar **DC Arek Suroboyo** yang telah mengajarkan penulis bahwa olahraga, musik, dan akademik bisa berjalan beriringan dengan baik.

7. Seluruh rakyat Metalurgi Raya terutama **Afifah, Ridho, Oxi, Sony, Amri, Mas Arale, Mas Khisni, Mas Esya, Mas Chandra, Mas Wira, Mas Arya, Evelyn, dan Selvi** yang selalu ada dalam suka duka penulis melewati hari-hari penuh perjuangan selama mengerjakan Tugas Akhir di Laboratorium.
8. Teman-teman **M55** yang sudah lulus, akan lulus, dan belum lulus, terutama **Lintang** dan **Bella**, yang tak pernah lelah mendukung dan memberikan warna selama penulis menjalankan perkuliahan di Teknik Mesin.
9. Teman SMA penulis, **Shelvy Surya** dan **Faqihatul Atiqoh**.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih banyak untuk bantuannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Januari 2017  
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Komposit .....	6
2.2.1 Matriks .....	7
2.2.2 Penguat ( <i>Reinforcement</i> ).....	7
2.2.3 Komposit <i>Sandwich</i> .....	11
2.2.4 Material Inti ( <i>Core</i> ) .....	12
2.3 Metode Manufaktur pada Komposit .....	13
2.4 Proses <i>Hand Lay - Up</i> .....	15
2.5 Metode Pengujian .....	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Diagram Alir Simulasi.....	20
3.3 Diagram Alir Eksperimen.....	21
3.4 Studi Literatur.....	22
3.5 <i>Properties</i> Material .....	22
3.6 Model Spesimen .....	23
3.7 Pengkondisian Model Uji <i>Bending</i> .....	24
3.8 Pengujian Eksperimen .....	29

3.8.1	Alat dan Bahan.....	29
3.8.2	Langkah – Langkah Percobaan .....	30
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Data Hasil Simulasi.....	33
4.2	Hasil Pengujian Komposit .....	35
4.3	Pembahasan Hasil Simulasi Pengujian	
	<i>Bending</i> dan Torsi.....	36
4.3.1	Deformasi Total pada Simulasi Pengujian	
	<i>Bending</i> .....	36
4.3.2	Tegangan <i>Principal</i> Maksimum pada Simulasi	
	Pengujian <i>Bending</i> .....	37
4.3.3	Deformasi Total pada Simulasi Pengujian	
	Torsi.....	38
4.3.4	Tegangan <i>Von-Misses</i> pada Simulasi Pengujian	
	Torsi.....	39
4.3.5	<i>Torsional Stiffness</i> pada Simulasi Pengujian	
	Torsi.....	40
4.4	Analisis Gambar Hasil Simulasi Uji <i>Bending</i> .....	42
4.4.1	Analisis Gambar Tegangan <i>Principal</i> .....	42
4.4.2	Analisis Gambar Deformasi Total .....	43
4.5	Analisis Gambar Hasil Simulasi Uji Torsi.....	44
4.5.1	Analisis Gambar Tegangan <i>Von-Misses</i> .....	44
4.5.2	Analisis Gambar Deformasi Total .....	46
4.6	Hasil Pengamatan Spesimen Uji <i>Bending</i> dan Torsi.....	47
<b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>BIODATA PENULIS</b>		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Bahan Penyusun Komposit.....	7
<b>Gambar 2.2</b> Diagram Jenis Komposit Menurut Matriks Penyusunnya.....	7
<b>Gambar 2.3</b> Diagram Jenis Komposit Menurut Serat Penyusunnya.....	8
<b>Gambar 2.4</b> Komposit Berpenguat Partikel.....	8
<b>Gambar 2.5</b> Komposit Berpenguat Serat.....	9
<b>Gambar 2.6</b> Komposit Berpenguat Struktur. (a) Berbentuk Laminar, (b) Berbentuk <i>Sandwich</i> .....	9
<b>Gambar 2.7</b> <i>Properties</i> dari <i>Fibers</i> dan <i>Bulk Metals</i> .....	10
<b>Gambar 2.8</b> Komposit <i>Sandwich</i> .....	11
<b>Gambar 2.9</b> Struktur Kayu Balsa.....	13
<b>Gambar 2. 10</b> Skema Pembentukan Komposit .....	13
<b>Gambar 2.11</b> <i>Manufacturing Process Selection Criteria</i> .....	15
<b>Gambar 2.12</b> Proses <i>Hand Lay - Up</i> .....	16
<b>Gambar 2.13</b> Pembebanan pada Uji <i>Three Point Bending</i> .....	17
<b>Gambar 3.1</b> Skema Diagram Alir Penelitian .....	19
<b>Gambar 3.2</b> Skema Diagram Alir Simulasi .....	20
<b>Gambar 3.3</b> Skema Diagram Alir Eksperimen .....	21
<b>Gambar 3.4</b> Pofil Spesimen 3D Beserta Ukurannya .....	24
<b>Gambar 3.5</b> Pemilihan Material untuk Uji <i>Bending</i> .....	24
<b>Gambar 3.6</b> Pemilihan Meshing untuk Uji <i>Bending</i> .....	25
<b>Gambar 3.7</b> Pemberian <i>Constraint</i> Pada Spesimen untuk Uji <i>Bending</i> .....	25
<b>Gambar 3.8</b> Pemberian <i>Fixed Support</i> dan <i>Force</i> Pada Spesimen untuk Uji Torsi.....	26
<b>Gambar 3.9</b> <i>Fiber Carbon</i> dengan Arah Lamina $0^{\circ}$ .....	26
<b>Gambar 3.10</b> <i>Fiber Carbon</i> dengan Arah Lamina $30^{\circ}$ .....	26
<b>Gambar 3.11</b> <i>Fiber Carbon</i> dengan Arah Lamina $45^{\circ}$ .....	27

<b>Gambar 3.12</b> Contoh Model Susunan Arah dan Ketebalan <i>Layer</i> dengan 5 Lamina dalam 1 Stackup .....	27
<b>Gambar 3.13</b> Skema Simulasi <i>Static Structural</i> .....	28
<b>Gambar 3.14</b> Mesin Uji <i>Bending</i> WOLPERT .....	29
<b>Gambar 3.15</b> Contoh Pengujian <i>Bending</i> .....	31
<b>Gambar 4.1</b> Perbandingan Deformasi Total dengan Jumlah <i>Layer</i> dan Arah Serat Akibat Pengujian <i>Bending</i> .....	36
<b>Gambar 4.2</b> Perbandingan Tegangan Maksimum <i>Principal</i> dengan Jumlah <i>Layer</i> dan Arah Serat Akibat Pengujian <i>Bending</i> .....	37
<b>Gambar 4.3</b> Perbandingan Deformasi Total dengan Jumlah <i>Layer</i> dan Arah Serat Akibat Pengujian Torsi.....	38
<b>Gambar 4.4</b> Perbandingan Tegangan Maksimum <i>Von-Misses</i> dengan Jumlah <i>Layer</i> dan Arah Serat Akibat Pengujian Torsi.....	40
<b>Gambar 4.5</b> Perbandingan <i>Torsional Stiffness</i> dengan Jumlah <i>Layer</i> dan Arah Serat Akibat Pengujian Torsi.....	41
<b>Gambar 4.6</b> Hasil Simulasi Tegangan <i>Principal</i> Akibat Beban <i>Bending</i> .....	42
<b>Gambar 4.7</b> Hasil Simulasi Deformasi Total Akibat Beban <i>Bending</i> .....	43
<b>Gambar 4.8</b> Hasil Simulasi (a) Tegangan <i>Von-Misses</i> Akibat Beban Torsi. (b) Detail Tegangan <i>Von-Misses</i> dengan Perbesaran 0.5x. ....	44
<b>Gambar 4.9</b> Hasil Simulasi (a) Deformasi Total Akibat Beban Torsi. (b) Detail Deformasi Maksimal dengan Perbesaran 0.5x. ....	46
<b>Gambar 4.10</b> Foto Makro Spesimen Hasil Pengujian <i>Bending</i> . (a) Tampak Samping. (b) Tampak Atas. (c) Detail Deformasi. ....	47
<b>Gambar 4.11</b> Transformasi <i>Section</i> Kayu Balsa menjadi Satu Bagian yang Terbuat dari Komposit Serat Karbon .....	48

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Epoxy Carbon Woven .....	23
<b>Tabel 3.2</b> Balsa Wood .....	23
<b>Tabel 4.1</b> Spesifikasi Spesimen pada Simulasi.....	33
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Simulasi Uji <i>Bending</i> dan Torsi <i>Mild Steel</i> .....	33
<b>Tabel 4.3</b> Tegangan <i>Principal</i> Maksimum dan Deformasi Maksimum pada Simulasi Uji <i>Bending</i> .....	34
<b>Tabel 4.4</b> Tegangan <i>Von-Misses</i> dan Deformasi Maksimum pada Simulasi Uji Torsi.....	34
<b>Tabel 4.5</b> Data <i>Torsional Stiffness</i> pada Spesimen dengan Arah Serat Karbon 0° .....	34
<b>Tabel 4.6</b> Data <i>Torsional Stiffness</i> pada Spesimen dengan Arah Serat Karbon 30° .....	35
<b>Tabel 4.7</b> Data <i>Torsional Stiffness</i> pada Spesimen dengan Arah Serat Karbon 45° .....	35
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan Spesimen Simulasi dengan Eksperimen .....	49

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya bidang otomotif dan dirgantara, diciptakan banyak mesin dengan material yang ringan agar memiliki efisiensi tinggi. Material yang digunakan dalam pembuatan produk sebagai pengganti logam adalah komposit. Hal ini dikarenakan material komposit memiliki keunggulan antara lain kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang lebih tinggi dari material logam lainnya. Harga produk komponen yang dibuat dari komposit dapat turun hingga 50% dibandingkan dengan produk bahan logam.

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit *sandwich* terdiri dari dua *flat* komposit dan *core*. Selama ini, *core* yang biasanya dipakai adalah *polyurethane (PU)*, *PVC foam*, dan *honeycomb*. Pada tahun 2010, Cesim Atas dan Cenk Sevim melakukan penelitian terhadap komposit *sandwich* dengan *core* kayu balsa dan *PVC foam* untuk membandingkan kekakuan kedua material tersebut melalui uji *impact*. Dalam penelitian disebutkan bahwa *core* kayu balsa mempunyai *stiffness* yang lebih tinggi daripada *PVC foam*[1].

Kayu merupakan salah satu bahan struktural paling banyak digunakan karena sifatnya yang alami, terbarukan, *biodegradable* dan relatif murah dengan *strength-to-weight ratios* yang sangat baik jika dibandingkan dengan material aluminium. Ketersediaan kayu yang berlimpah, merupakan sumber daya alam yang dapat direkayasa menjadi produk teknologi andalan nasional sebagai *core* komposit *sandwich*. Balsa (*Ochroma pyramidale*) adalah pohon asli dari Amerika yang tumbuh dengan sangat cepat sehingga memiliki *density* yang rendah dan merupakan kayu paling ringan yang pernah ada. Di antara berbagai jenis kayu, kayu balsa memiliki karakteristik yang paling baik untuk

digunakan sebagai *core*. Sebelumnya sudah pernah diteliti tentang *properties* pada kayu balsa seperti yang disebutkan pada penelitian yang dilakukan oleh Meisam Shir Mohammadi dan John A Nairn tentang sifat ketangguhan yang dimiliki kayu balsa[2]. Selanjutnya penelitian Michael Osei Antwi et al pada tahun 2013, dalam penelitiannya disebutkan bahwa *shear stiffness* dan *strength* pada kayu balsa akan meningkat seiring dengan adanya peningkatan *density*[3].

*Fiber glass* merupakan salah satu material yang paling sering digunakan dalam pembuatan komposit. Padahal sebagai bahan *reinforced* pada komposit, dapat digunakan pula *fiber carbon* yang memiliki kekuatan lebih tinggi seperti yang dijelaskan pada penelitian Yu Uriya yang menyebutkan bahwa densitas pada *carbon fiber* 5 kali lebih kecil dan memiliki *tensile strength* 10 kali lebih tinggi daripada *high-strength steels* konvensional[4]. Berdasarkan serangkaian penelitian yang telah dilakukan tentang kayu balsa maupun *fiber carbon*, dapat diketahui bahwa banyak *properties* yang menguntungkan dari kedua material tersebut, oleh karena itu pada tahun 2014 dilakukan penelitian oleh N Jover et al tentang *crack pattern* pada material komposit *sandwich carbon fiber* dengan *core* kayu balsa bergantung pada jumlah *impact* yang diterima[5].

Industri komposit di luar negeri sudah banyak menggunakan kayu balsa sebagai bahan *core* dari komposit *sandwich*. Namun di Indonesia kayu ini lebih terkenal sebagai bahan pembuatan *aeromodelling* dan maket. Dilihat dari *properties* yang dimiliki, diperlukan adanya penelitian lebih lanjut tentang komposit *sandwich fiber carbon* dengan *core* kayu balsa.

## 1.2 Perumusan Masalah

Masih sedikit penelitian yang dilakukan mengenai komposit *sandwich* menggunakan *core* kayu balsa sehingga di Indonesia komposit dengan material tersebut masih belum banyak digunakan.

Dalam penelitian kali ini akan dievaluasi pengaruh variasi arah serat dan jumlah *layer* terhadap karakteristik *bending* dan *torsional stiffness* material komposit *sandwich* yang menggunakan *fiber carbon* dan *core* kayu balsa

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar penulisan ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang akan diberikan adalah sebagai berikut:

1. Simulasi menggunakan menggunakan *software finite element analysis*.
2. Pengujian *bending* menggunakan standar ASTM D790M.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik pada material komposit *sandwich* yang menggunakan *fiber carbon* dan *core* kayu balsa terhadap kekuatan *bending* dan *torsional stiffness* serta hubungannya dengan ketebalan *layer* dan arah seratnya menggunakan *software finite element analysis* dan eksperimen.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah dapat digunakan sebagai referensi untuk pembaca dalam perancangan *chassis* dari komposit *sandwich* dan memungkinkan dilakukan pengembangan lebih lanjut kedepannya.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pada tahun 2010, Cesim Atas dan Cenk Sevim melakukan penelitian terhadap komposit *sandwich* dengan inti kayu balsa dan PVC *foam* untuk membandingkan kekakuan kedua material tersebut melalui uji *impact*. *Core* yang digunakan adalah PVC *foam* dengan densitas  $62 \text{ kg/m}^3$  dan kayu balsa dengan densitas  $157 \text{ kg/m}^3$  sedangkan *reinforced* yang digunakan adalah serat *E-glass* dengan density  $780 \text{ g/m}^2$ . Dalam penelitian disebutkan bahwa *core* kayu balsa memiliki nilai *stiffness* yang lebih tinggi daripada PVC *foam*[1].

Selain kekakuan, sebelumnya sudah pernah diteliti tentang *properties* lain dari kayu balsa, seperti *compression strength*, *impact strength*, *toughness*, dan *bending*. Contohnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Meisam Shir Mohammadi dan John A Nairn. Disebutkan bahwa pada mode I (kayu balsa disusun tegak lurus dengan *grain*-nya), ketangguhannya lebih rendah jika dibandingkan dengan material kayu yang lain, namun mengingat densitas yang dimiliki kayu balsa sangatlah rendah maka ketangguhan yang dimilikinya lebih tinggi daripada ekspektasi. Mode II (kayu balsa disusun parallel terhadap *grain*-nya) memiliki ketangguhan lebih tinggi daripada mode I. dalam penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa ketangguhan yang dimiliki kayu balsa dapat digunakan dan sangat baik sebagai *core* pada komposit *sandwich*[2]. Selanjutnya penelitian Michael Osei Antwi et al pada tahun 2013, dalam penelitiannya disebutkan bahwa *shear stiffness* dan *strength* pada kayu balsa akan meningkat seiring dengan adanya peningkatan *density*[3].

Sebagian besar komposit yang dibuat masih menggunakan *fiber glass*. Padahal sebagai bahan *reinforced* pada komposit, dapat digunakan pula *fiber carbon* yang memiliki kekuatan lebih tinggi seperti yang dijelaskan pada penelitian Yu Uriya yang

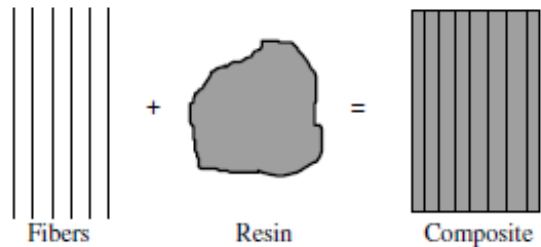
menyebutkan bahwa densitas pada *carbon fiber* 5 kali lebih kecil dan memiliki *tensile strength* 10 kali lebih tinggi daripada *high-strength steels* konvensional[4].

Berdasarkan serangkaian penelitian yang telah dilakukan tentang kayu balsa maupun *fiber carbon*, dapat diketahui bahwa banyak *properties* yang menguntungkan dari kedua material tersebut, oleh karena itu pada tahun 2014 dilakukan penelitian oleh N Jover et al tentang *impact strength* pada material komposit *sandwich carbon fiber* dengan inti kayu balsa. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan pada 1 *layer* komposit *sandwich* dengan *fiber carbon 3k tow* dan inti kayu balsa setebal 0,95 cm. Pengujian *impact* dilakukan dengan proyektil kecil (3,8 mm radius) *grade 25 alloyed steel ball bearings* dengan massa 2 g dan *hardness 63-67 Rockwell C*. Didapatkan hasil bahwa *ballistic limit* dari komposit *fiber carbon-balsa core 1 layer* adalah 96m/s. Pada *face sheet* retakan yang ditimbulkan kecil dan rapi namun pada *back sheet* retakan yang timbul semakin melebar. Efek dari *impact* yang diterima akan semakin besar bergantung pada jumlah *impact* yang dikenakan[5].

## 2.2 Komposit

Komposit adalah suatu sistem material yang tersusun atas campuran atau kombinasi dari dua atau lebih unsur pokok mikro atau makro yang berbeda dalam bentuk dan komposisi kimia serta pada dasarnya tidak saling larut satu sama lain. Pada Gambar 2.1 menunjukkan ilustrasi bahan penyusun komposit. Aspek penting dari komposit adalah dua atau lebih material yang berbeda digabungkan bersama dalam bentuk komposit yang memiliki sifat-sifat yang paling baik atau penting pada sifat-sifat dari komponen secara individu dari sistem mesin atau struktur. Dalam dunia rekayasa beberapa komposit yang penting dan banyak digunakan adalah plastik diperkuat dengan serat (*fiber-reinforced plastics*), coran semen (*concrete*), aspal (*asphalt*), kayu (*wood*). Komposit terdiri dari material pengisi (matriks) dan material

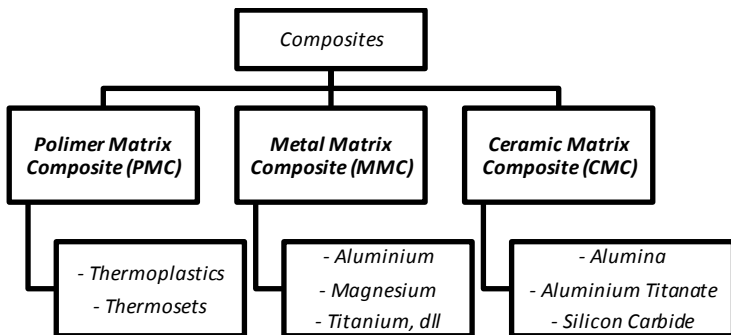
penguat (*reinforcements*). Sifat akhir dari material komposit akan lebih baik dari sifat material penyusunnya[6].



**Gambar 2.1** Bahan Penyusun Komposit

### 2.2.1 Matriks

Matriks merupakan unsur yang bertugas untuk mengikat dan melindungi penguat. Unsur ini juga menahan dan meneruskan tegangan yang di terima pada komposit tersebut. Pada Gambar 2.2 dijelaskan macam-macam jenis komposit berdasarkan matriks penyusunnya.

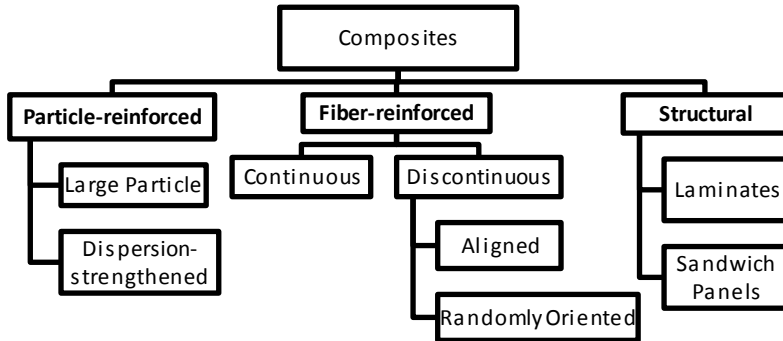


**Gambar 2.2** Diagram Jenis Komposit Menurut Matriks Penyusunnya

### 2.2.2 Penguat (*Reinforcement*)

Penguat merupakan unsur utama dalam pembentukan material komposit. Sehingga penguat inilah yang menentukan karakteristik material komposit seperti kekakuan, kekuatan, dan

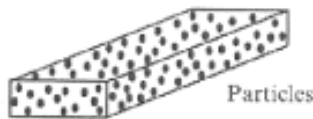
sifat-sifat mekanik lainnya. Penguat dapat terbuat dari metal, polimer, atau keramik. Pada Gambar 2.3 dijelaskan macam-macam jenis komposit berdasarkan *reinforced* penyusunnya.



**Gambar 2.3** Diagram Jenis Komposit Menurut Serat Penyusunnya

### 1. Komposit berpenguat partikel (*Particle-reinforced*)

Merupakan komposit yang penguatnya berupa fase partikel. Gambar 2.4 merupakan ilustrasi dari komposit berpenguat partikel.

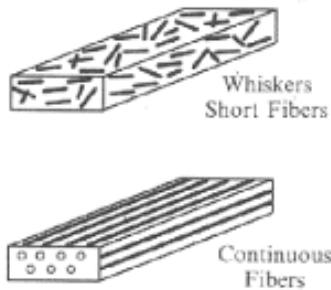


**Gambar 2.4** Komposit Berpenguat Partikel

### 2. Komposit berpenguat serat (*Fiber-reinforced*)

Merupakan komposit yang fase penguatnya berupa serat baik panjang maupun pendek. Pada Gambar 2.5 merupakan ilustrasi dari komposit berpenguat serat pendek dan komposit berpenguat serat *continuos*.

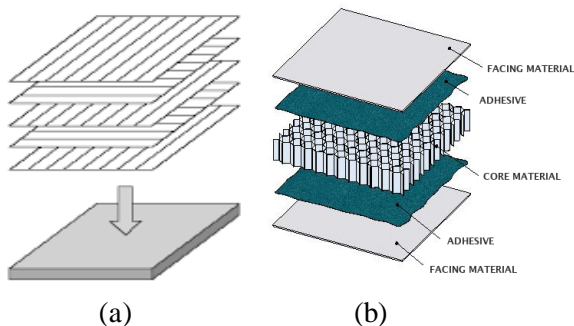




**Gambar 2.5** Komposit Berpenguat Serat

### 3. Komposisi berpenguat struktural

Merupakan komposit yang penguatnya berupa lapisan baik yang berbentuk laminar maupun *sándwich*. Pada Gambar 2.6 (a) dapat dilihat ilustrasi komposit berpenguat struktur yang berbentuk laminar dan pada Gambar 2.6 (b) merupakan ilustrasi dari komposit berpenguat struktur yang berbentuk *sándwich*.



**Gambar 2.6** Komposit Berpenguat Struktur. (a) Berbentuk Laminar, (b) Berbentuk *Sandwich*

#### 2.2.2.1 *Carbon Fiber*

*Carbon fibers* merupakan material yang terdiri dari serat berdiameter 5-10  $\mu\text{m}$  dengan sebagian besar susunannya adalah atom karbon. *Carbon fibers* dibuat dengan karbonisasi dari material PAN (*Polyacrylonitrile*) dan Rayon yang biasa

digunakan saat ini, material tersebut merupakan polimer tekstil. Setelah proses karbonisasi dilanjutkan proses grafitisasi pada temperatur tinggi dan dilanjutkan dengan proses penggulungan serat-serat karbon menjadi *tow* yang bisa langsung digunakan atau ditenun menjadi bentuk anyaman. Pada Gambar 2.7 dijelaskan beberapa *properties* yaitu *tensile strength*, *tensile modulus*, dan *density* dari *fibers* dan *bulk metals*.

#### Selected properties of fibers and bulk metals

Material	Tensile strength 10 <sup>3</sup> psi (MPa)	Tensile modulus 10 <sup>6</sup> psi (GPa)	Density lb/in <sup>3</sup> (g/cm <sup>3</sup> )
Bulk 6061T6 Aluminum	45.0 (310)	10.0 (69)	0.098 (2.71)
Bulk SAE 4340 Steel	150.0 (1034)	29.0 (200)	0.283 (7.83)
E-glass fibers	500.0 (3448)	10.5 (72)	0.092 (2.54)
S-glass fibers	650.0 (4482)	12.5 (86)	0.090 (2.49)
Carbon fibers (PAN precursor)			
AS-4 (Hercules)	580.0 (4000)	33.0 (228)	0.065 (1.80)
IM-7 (Hercules)	785.0 (5413)	40.0 (276)	0.064 (1.77)
T-300 (Amoco)	530.0 (3654)	33.5 (231)	0.064 (1.77)
T-650/42 (Amoco)	730.0 (5033)	42.0 (290)	0.064 (1.77)
Carbon fibers (pitch precursor)			
P-55 (Amoco)	250.0 (1724)	55.0 (379)	0.072 (1.99)
P-75 (Amoco)	300.0 (2068)	75.0 (517)	0.072 (1.99)
P-100 (Amoco)	325.0 (2241)	100.0 (690)	0.078 (2.16)
Aramid fibers			
Kevlar® 29 (Dupont)	550.0 (3792)	9.0 (62)	0.052 (1.44)
Kevlar® 49 (Dupont)	550.0 (3792)	19.0 (131)	0.053 (1.47)
Boron fibers			
0.004" diameter (Textron)	510.0 (3516)	58.0 (400)	0.093 (2.57)
0.0056" diameter (Textron)	510.0 (3516)	58.0 (400)	0.090 (2.49)
Silicon carbide fibers			
0.0056" diameter (Textron)	500.0 (3448)	62.0 (427)	0.110 (3.04)

**Gambar 2.7** *Properties* dari *Fibers* dan *Bulk Metals*

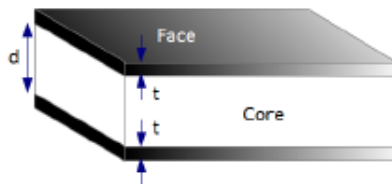
Ukuran *tow* pada *carbon fibre* terdiri dari 3k, 6k, 12k, 24k, 40k, 48k, 80k, 160k, 320k, 400k dan 410k. Maksud dari *carbon fiber* 1 tow terdiri dari 3k adalah terdiri dari 3000 serat.

*Carbon fiber* dapat diaplikasikan pada pesawat terbang, otomotif, konstruksi, militer, dan peralatan olahraga. *Carbon fiber* biasanya dijadikan material penguat pada komposit, kelebihan dari *carbon fiber* ini antara lain:

- Memiliki kekakuan, kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi.
- Massa jenis yang kecil.
- Memiliki *chemical resistance* dan *temperature tolerance* yang tinggi
- Memiliki *thermal expansion* yang rendah.

Meskipun banyak kelebihan yang dimiliki, *carbon fiber* memiliki harga yang relatif mahal jika dibandingkan dengan material serat lain seperti *glass fiber* atau *plastic fibers*. *Axial compressive strength* pada *carbon fiber* lebih rendah dari kekuatan tariknya. Dapat disebutkan bahwa semakin tinggi nilai modulus dari *carbon fiber* maka semakin rendah nilai *compressive strength* yang dimilikinya

### 2.2.3 Komposit Sandwich



**Gambar 2.8** Komposit Sandwich

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan, yaitu 2 lapisan luar (*skin*) dan 1 lapisan inti (*core*). Dapat dilihat pada Gambar 2.8 merupakan susunan dari komposit *sandwich* dengan *t* sebagai tebal *skin* dan *d* sebagai tebal *core*. Lapisan luar dan lapisan inti digabungkan menggunakan lapisan

*adhesive* berupa *epoxy structural* atau *adesive film*. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang cocok untuk menahan beban lentur, kejutan dan meredam getaran dan suara. Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural dari bagian *internal* maupun *eksternal* pada pesawat, kereta, bus, truk dan jenis kendaraan lainnya.

#### 2.2.4 Material Inti (Core)

Material *core* adalah material yang berfungsi untuk membuat struktur komposit menjadi kaku, menambah ketebalan komposit tanpa meningkatkan berat secara drastis. Contoh dari material *core* yang digunakan pada komposit adalah *honeycomb*, *foam*, dan kayu.

##### 2.2.4.1 Kayu Balsa

Balsa (*Ochroma pyramidale*), adalah tanaman asli dari Amerika. Pertumbuhan balsa sangat cepat, hal inilah yang membuat densitas kayu rendah. Gambar 2.9 merupakan gambar struktur dari kayu balsa. Nilai densitas untuk balsa dapat bervariasi antara 60 - 380 kg/m<sup>3</sup>. Densitasnya yang rendah sangat bermanfaat dalam aplikasi yang membutuhkan material ringan dengan sifat mekanik yang baik. Kayu balsa merupakan sumber daya terbarukan yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi, kekuatan terhadap *fatigue* yang baik, dan sangat ekonomis. Oleh sebab itu kayu balsa dapat digunakan sebagai salah satu bahan *core* pada komposit *sandwich* untuk *blades* pada turbin, peralatan olahraga, kapal, dan pesawat. Namun, di Indonesia, penggunaan kayu balsa sebagai *core* pada komposit masih sangat jarang sekali.



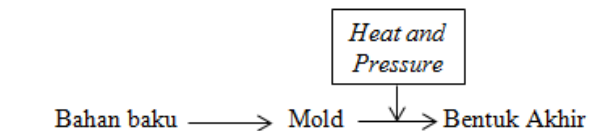
**Gambar 2.9** Struktur Kayu Balsa

### 2.3 Metode Manufaktur pada Komposit

Ada berbagai macam proses manufaktur yang digunakan untuk melakukan pembentukan polimer dan komposit. Pemilihan proses manufaktur manakah yang sesuai dan akan digunakan dapat ditentukan berdasarkan beberapa hal berikut ini:

1. Jumlah barang yang akan di produksi.
2. Biaya pembuatan.
3. Kekuatan material.
4. Bentuk dan ukuran produk.

Setiap proses manufaktur yang dilakukan membutuhkan kondisi yang tidak sama dengan proses manufaktur lainnya. Perbedaan itu dapat terletak pada jenis bahan baku atau material yang digunakan, peralatan apa saja yang digunakan, maupun kondisi atau suhu pengerjaan yang berbeda-beda. Pembuatan suatu komponen dengan bahan polimer dan komposit, hal utama yang dibutuhkan adalah bahan baku, alat, cetakan, panas, dan tekanan. Pada Gambar 2.10 merupakan skema pembentukan komposit dari bahan baku hingga menjadi bentuk akhir



**Gambar 2. 10** Skema Pembentukan Komposit

Semakin tinggi tekanan dan temperatur yang digunakan selama proses manufaktur, alat yang dibutuhkan semakin kuat dan berat, hal tersebut yang menyebabkan meningkatnya biaya perkakas.

Proses manufaktur yang ideal adalah proses yang pada saat pengerjaannya membutuhkan panas dan tekanan yang rendah. Proses produksi dengan siklus yang cepat juga disukai karena dapat melakukan penghematan biaya pengolahan yang sangat signifikan. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat berbagai macam proses manufaktur dari komposit dan kriteria yang digunakan, seperti *production speed, cost, strength, size, shape*, dan *raw material*. Langkah-langkah utama dalam proses manufaktur pada komposit adalah:

1. *Impregnation*
2. *Lay-up*
3. *Consolidation*
4. *Solidification*

Macam-macam proses manufaktur pada komposit termoset:

1. *Prepreg Lay-Up*
2. *Wet Lay-Up*
3. *Filament Winding*
4. *Pultrusion*

Macam-macam proses manufaktur pada komposit termoplastik:

1. *Hot Press Technique*
2. *Compression Molding of GMT*
3. *Injection Moldin*

Manufacturing Process Selection Criteria

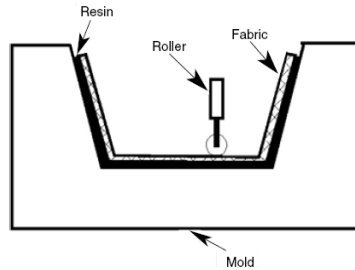
Process	Production Speed	Cost	Strength	Size	Shape	Raw Material
Filament winding	Slow to fast	Low to high	High	Small to large	Cylindrical and axisymmetric	Continuous fibers with epoxy and polyester resins
Pultrusion	Fast	Low to medium	High (along longitudinal direction)	No restriction on length; small to medium size cross-section	Constant cross-section	Continuous fibers, usually with polyester and vinylester resins
Hand lay-up	Slow	High	High	Small to large	Simple to complex	Prepreg and fabric with epoxy resin
Wet lay-up	Slow	Medium	Medium to high	Medium to large	Simple to complex	Fabric/mat with polyester and epoxy resins
Spray-up	Medium to fast	Low	Low	Small to medium	Simple to complex	Short fiber with catalyzed resin
RTM	Medium	Low to medium	Medium	Small to medium	Simple to complex	Preform and fabric with vinylester and epoxy
SRIM	Fast	Low	Medium	Small to medium	Simple to complex	Fabric or preform with polyisocyanurate resin
Compression molding	Fast	Medium	Medium	Small to medium	Simple to complex	Molded compound (e.g., SMC, BMC)
Stamping	Fast	Low	Medium	Medium	Simple to contoured	Fabric impregnated with thermoplastic (tape)
Injection molding	Fast	Low to medium	Low to medium	Small	Complex	Pallets (short fiber with thermoplastic)
Roll wrapping	Medium to fast	High	High	Small to medium	Tubular	Prepregs

**Gambar 2.11** *Manufacturing Process Selection Criteria*

## 2.4 Proses *Hand Lay - Up*

Proses manufaktur bahan komposit dengan metode *hand lay up* merupakan metode yang paling sederhana diantara metode-metode manufaktur bahan komposit lainnya. Teknik pembuatannya sangat mudah, yaitu cairan resin dioleskan diatas sebuah cetakan dan kemudian serat lapisan pertama diletakkan diatasnya, kemudian dengan menggunakan *roller*/kuas resin kembali diratakan. Langkah ini dilakukan terus menerus hingga didapatkan ketebalan spesimen yang diinginkan. Ilustrasi proses dan alat yang digunakan pada *hand lay-up* dapat dilihat pada Gambar 2.12.

Metode *hand lay up* biasanya memiliki waktu *curing* pada suhu kamar dan akan mengering tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu *curing* bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Pemberian tekanan dengan roller atau kuas bertujuan untuk mengurangi *void*/gelembung udara yang terperangkap dalam *laminat* komposit[7].



**Gambar 2.12** Proses *Hand Lay - Up*

Metode *hand lay up* banyak diaplikasikan untuk pembuatan komposit yang sederhana. Keuntungan metode *hand lay up* antara lain :

1. Biaya *tooling* yang rendah
2. Proses pembuatannya sederhana
3. Cetakan dapat digunakan berulang kali

Disamping itu metode *hand lay up* juga memiliki kekurangan antara lain :

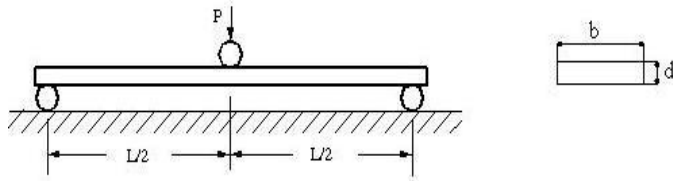
1. Kualitas produk antar komponen tidak konsisten, bergantung dari kemampuan pembuatnya.
2. Kesehatan dan keselamatan pekerja pada saat pembuatan perlu diperhatikan, karena proses *curing* terbuka maka menimbulkan bau yang cukup mengganggu.
3. Tidak bisa digunakan untuk produksi masal

## 2.5 Metode Pengujian

Merupakan pengujian yang dilakukan terhadap suatu material untuk mengetahui karakteristik mekanik dari material tersebut. Pengujian *three point bending* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur (*flexural stiffness*) komposit. Pengujian ini dilakukan dengan cara batang spesimen disangga di kedua sisi dan di berikan beban diantara 2 penyangga tersebut sampai spesiment tersebut rusak / patah.



Idealnya spesimen uji akan mengalami kegagalan retak (*fracture*) akibat beban geser (*shear*). Pada bagian atas spesimen mengalami beban tekan dan pada bagian bawah spesimen mengalami beban Tarik. Pengujian berdasarkan standar ASTM D 790[8]. Gambar 2.13 menunjukkan skema pembebanan yang dilakukan pada uji *three point bending*.



**Gambar 2.13** Pembebanan pada Uji *Three Point Bending*

Pada pengujian bending dengan metode *three point bending* digunakan persamaan yang sesuai dengan ASTM D790, yaitu :

$$S = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.1)$$

Dimana :

S = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

L = Panjang Span (mm)

b = Lebar (mm)

d = Tebal (mm)

sedangkan untuk mencari modulus elastisitas *bending* dapat digunakan persamaan

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (2.2)$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (2.3)$$

Sehingga,

$$E = \frac{PL^3}{48 I \delta_{max}} \quad (2.4)$$

Dimana :

$E$  = Modulus elastisitas *bending* (MPa)

$L$  = Panjang Span (mm)

$\delta_{maks}$  = Defleksi maksimum (mm)

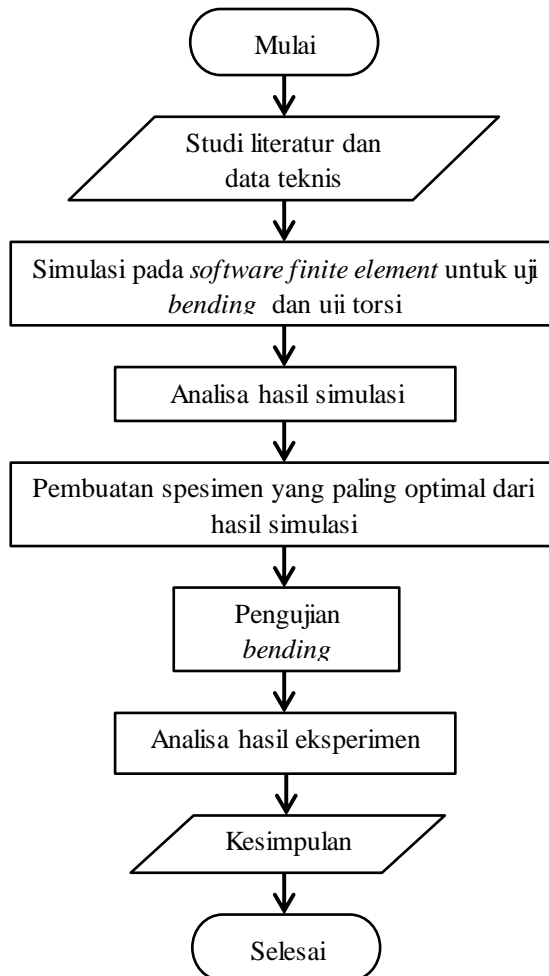
$h$  = Tebal (mm)

$b$  = Lebar (mm)

Pada spesimen *bending*, umumnya kerusakan yang terjadi akibat adanya gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada komposit. Pada bagian atas komposit mengalami gaya tekan akibat beban yang diberikan oleh mesin, pada sisi bawah komposit mengalami gaya tarik akibat defleksi yang terjadi setelah komposit diberi beban. Dengan beban yang terus diterima oleh komposit maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kegagalan pada komposit tersebut. Gaya geser yang terjadi pada interlaminar menyebabkan delaminasi pada komposit tersebut, sehingga mengakibatkan kegagalan pada spesimen *bending*.

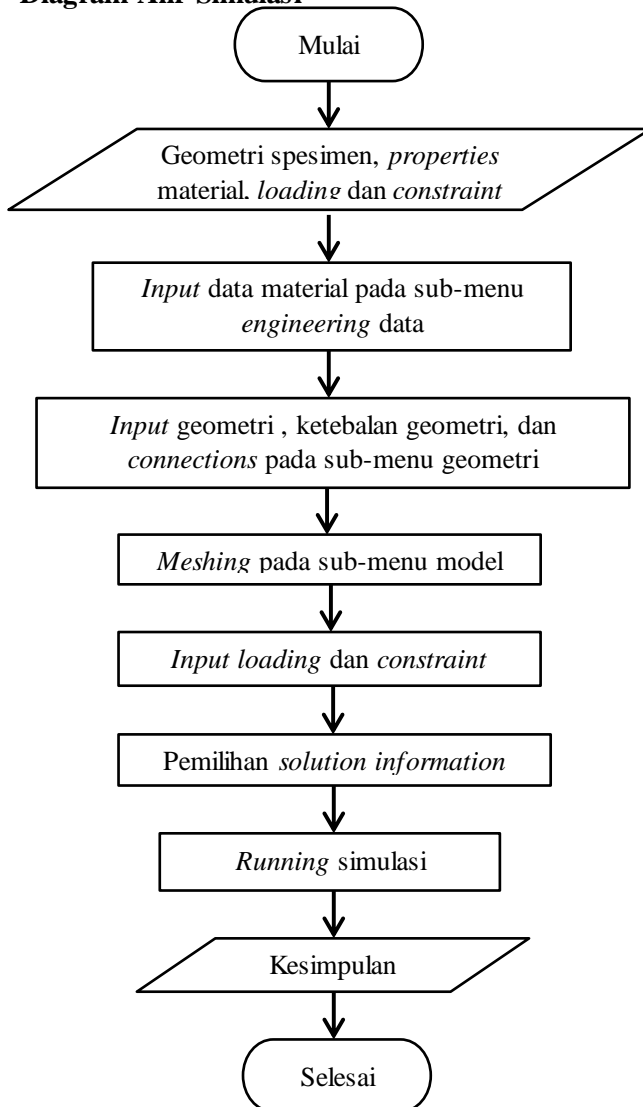
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



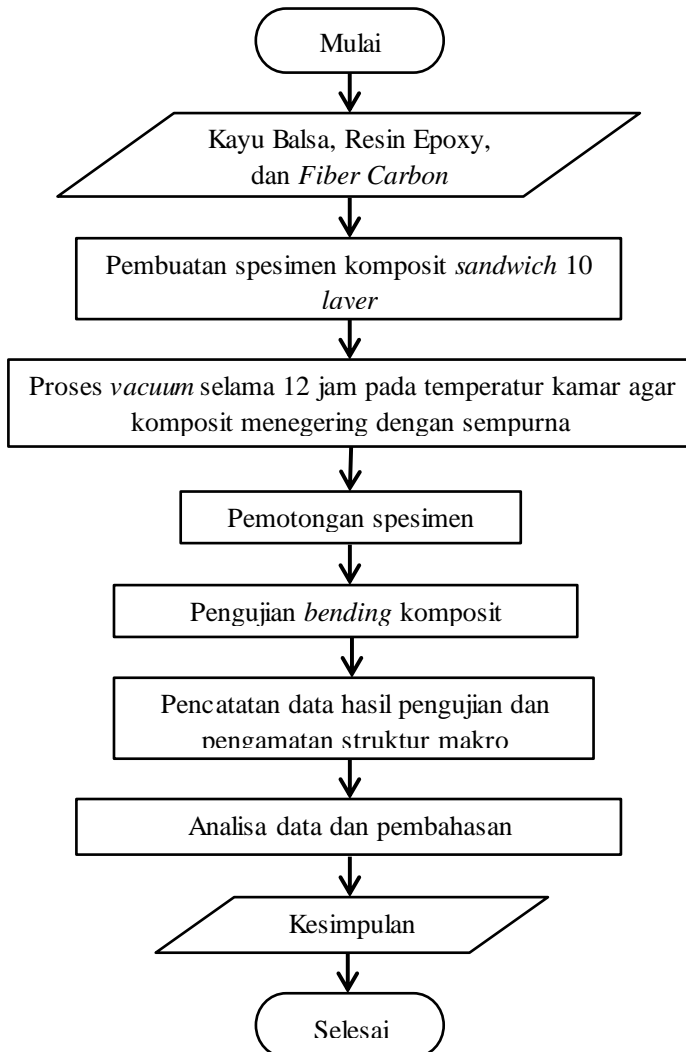
**Gambar 3.1** Skema Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Diagram Alir Simulasi



**Gambar 3.2** Skema Diagram Alir Simulasi

### 3.3 Diagram Alir Eksperimen



**Gambar 3.3** Skema Diagram Alir Eksperimen

### 3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui dasar teori mengenai informasi yang berkaitan dengan penelitian. Dasar teori berkaitan dengan hal-hal berikut ini:

1. Komposit

Dasar teori mengenai definisi komposit, komponen-komponen penyusunnya yaitu matriks, penguat dan material inti serta penjelasan secara detail untuk aspek tertentu yang berkaitan dengan penelitian.

2. Kayu Balsa

Penjelasan mengenai *properties* yang dimiliki oleh kayu balsa dan contoh aplikasi yang pernah dilakukan.

3. *Fiber Carbon*

Dasar teori mengenai definisi *fiber carbon* dan *properties* yang dimilikinya.

Tinjauan pustaka berisi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan kayu balsa, *fiber carbon*, dan komposit *sandwich*.

### 3.5 *Properties Material*

Material untuk pembuatan komposit pada percobaan kali ini adalah *epoxy* resin sebagai *matriks*, *fiber carbon woven* sebagai *skin*, dan kayu balsa sebagai material inti (*core*). Adapun material tambahan berupa lem *epoxy*. Tabel 3.1 merupakan *properties* dari *Epoxy Carbon Woven* dan Tabel 3.2 merupakan *properties* dari *Balsa Wood* yang digunakan untuk pembuatan komposit.

**Tabel 3.1 Epoxy Carbon Woven**

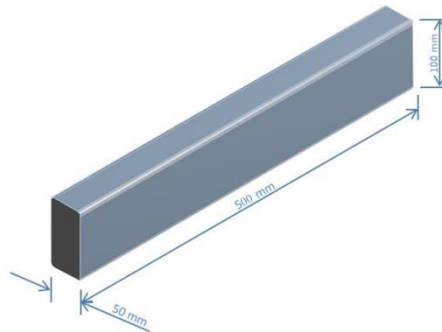
<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
Density	1790	Kg/m <sup>3</sup>
Young's Modulus X Direction	43203	Mpa
Young's Modulus Y Direction	43203	Mpa
Young's Modulus Z Direction	3000	Mpa
Poisson's Ratio XY	0,3	-
Poisson's Ratio YZ	0,3	-
Poisson's Ratio XZ	0,3	-
Shear Modulus XY	17500	Mpa
Shear Modulus YZ	2700	Mpa
Shear Modulus XZ	2700	Mpa
Tensile X Direction	1820	Mpa
Tensile Y Direction	1820	Mpa
Tensile Z Direction	150	Mpa
Compressive X Direction	-437	Mpa
Compressive Y Direction	-437	Mpa
Compressive Z Direction	-150	Mpa
Shear XY	120	Mpa
Shear YZ	55	Mpa
Shear XZ	55	Mpa

**Tabel 3.2 Balsa Wood**

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
Density	129,75	Kg/m <sup>3</sup>
Young's Modulus	3000	Mpa
Poisson's Ratio	0,38	-
Shear Modulus	230	Mpa
Tensile Strength	14	Mpa
Compressive Strength	7	Mpa
Thermal Conductivity	0,1	W/m-K

### 3.6 Model Spesimen

Model spesimen yang digunakan sesuai dengan dimensi *ladder chassis* pada truk [9], dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Profil Spesimen 3D Beserta Ukurannya

### 3.7 Pengkondisian Model Uji *Bending*

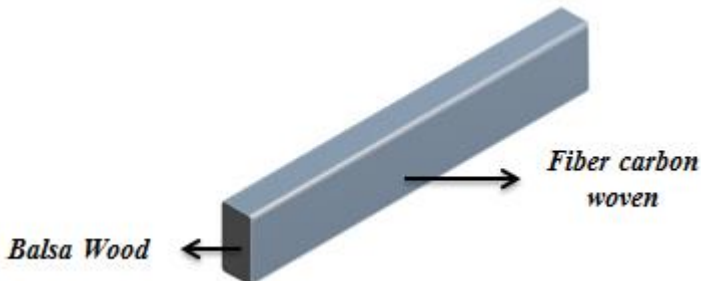
Memulai proses simulasi untuk pengujian *bending* menggunakan *software finite element* dan yang perlu dilakukan dalam melakukan pengujian ini antara lain:

#### 1. Penentuan Geometri

Geometri yang telah di desain menggunakan *software solidworks* di *import* ke dalam *software finite element*.

#### 2. *Input Data Material*

Data *properties* material (*balsa wood* dan *fiber carbon woven*) dimasukkan ke dalam sub-menu *engineering data*. Susunan material yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5



**Gambar 3.5** Pemilihan Material untuk Uji *Bending*



### 3. Meshing



**Gambar 3.6** Pemilihan *Meshing* untuk Uji *Bending*

Pada gambar 3.6 menunjukkan proses *meshing* yang dilakukan terhadap geometri specimen.

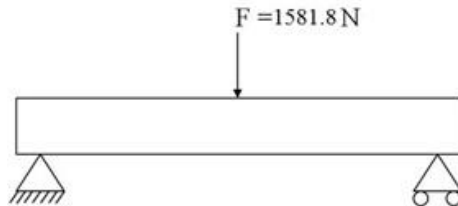
Jumlah elemen : 92784

Jumlah Noda : 134565

### 4. Pemberian Beban dan *Fixed Support*

#### - Uji *Bending*

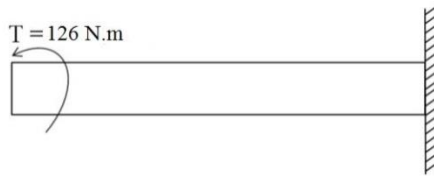
Skema pengujian *bending* ini dapat dilihat pada Gambar 3.7 dengan gaya yang diberikan sebesar 1581,8 N.



**Gambar 3.7** Pemberian *Constraint* Pada Spesimen untuk Uji *Bending*

#### - Uji *Torsi*

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kekakuan dari specimen. Skema pengujian torsi dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan *torsi* yang diberikan bernilai 126 N.m.

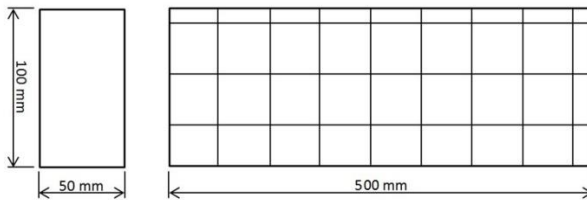


**Gambar 3.8** Pemberian *Fixed Support* dan *Force* Pada Spesimen untuk Uji Torsi

### 5. Pengaturan Arah dan Ketebalan *Layer*

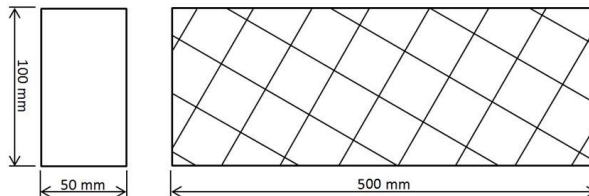
Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam penggunaan komposit *sandwich*, peletakan arah lamina merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan material komposit. Simulasi pengujian dilakukan dengan software *finite element*. Simulasi menggunakan analisis *Static Structural (ACP)* untuk komposit. Material yang dipakai adalah *carbon fiber woven wet* sebagai skin dan kayu balsa sebagai inti (*core*). Variasi arah lamina yang diterapkan dalam 1 *stackup* dapat dilihat pada Gambar, 3.9, Gambar 3.10, dan Gambar 3.11.

- Arah lamina  $0^\circ$



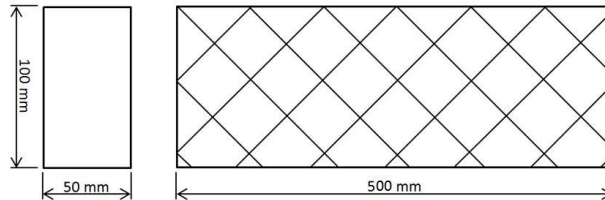
**Gambar 3.9** *Fiber Carbon* dengan Arah Lamina  $0^\circ$

- Arah lamina  $30^\circ$



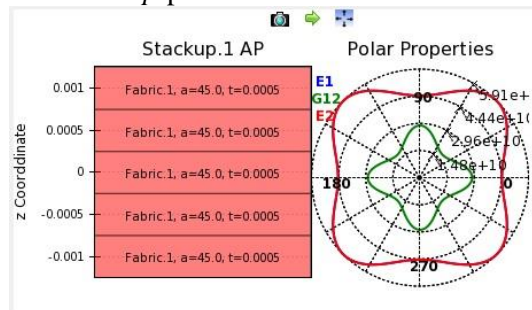
**Gambar 3.10** *Fiber Carbon* dengan Arah Lamina  $30^\circ$

- Arah lamina  $45^\circ$



**Gambar 3.11** *Fiber Carbon* dengan Arah Lamina  $45^\circ$

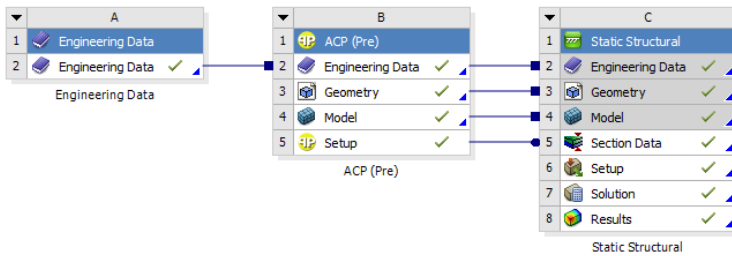
Diberikan 6 variasi jumlah *layer* yang sama pada masing-masing variasi arah lamina yaitu 1 *layer*, 2 *layer*, 3 *layer*, 5 *layer*, 7 *layer*, dan 10 *layer*. Pada setiap material yang dibuat menggunakan arah serat yang *uniform* seperti yang ditunjukkan dengan skema *stackup* pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.12** Contoh Model Susunan Arah dan Ketebalan *Layer* dengan 5 Lamina dalam 1 *Stackup*

## 6. Proses *Running* dan Hasil Simulasi

Pada *software finite element analysis* diberikan input data berupa *properties material*, geometri material, dan solusi yang ingin didapatkan. Skema proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13** Skema Simulasi *Static Structural*

## 7. Analisis Data

Dari hasil simulasi berupa distribusi tegangan dan nilai deformasi total yang akan dianalisis apakah nilai tegangan berada dibawah tegangan *yield* tiap material sehingga aman digunakan. Analisis dilakukan dengan melihat daerah kritis pada saat deformasi maksimal dan tegangan maksimal serta berat yang dihasilkan. Rumus perhitungan *torsional stiffness* melalui simulasi yaitu:

$$K = \frac{T}{\theta} \quad (3.1)$$

$$T = F \times d \quad (3.2)$$

$$K = \frac{F \times d}{\tan^{-1}\left(\frac{z_1 + z_2}{2b}\right)} \quad (3.3)$$

Dimana,

$K$  : *Torsional Stiffness* (Nm/deg)

$T$  : *Torsi* (Nm)

$F$  : *Vertikal Force* (N)

$z_1$  : Defleksi vertikal 1 (m)

$z_2$  : Defleksi vertikal 2 (m)

$\theta$  : Defleksi sudut (rad)

$d$  : jarak *fixed support* terhadap titik tengah spesimen (m)

### 3.8 Pengujian Eksperimen

#### 3.8.1 Alat dan Bahan

- **Alat**

1. Mesin uji *bending* WOLPERT



**Gambar 3.14** Mesin Uji *Bending* WOLPERT

2. Mesin *vacuum*
3. Alat bantu : selotip kertas, gerinda, gergaji kayu, gunting, kuas, lem *epoxy*, kabel ties, plastisin, selang, dan spidol
4. Alat ukur : mistar dan jangka sorong
5. Alat keselamatan: sarung tangan dan masker

- **Bahan**

1. Triplek dan plastik mika untuk cetakan
2. *Fiber carbon woven*
3. Resin *epoxy* dan *hardener* dengan perbandingan 3:1
4. Kayu balsa
5. *Vacuum bag*
6. *Sealant tape* hitam
7. Kain *peel-ply*

### 3.8.2 Langkah – Langkah Percobaan

#### 3.8.2.1 Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan pada percobaan ini menggunakan kayu balsa dan *fiber carbon* dengan variasi jumlah *layer*. Proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. Kayu balsa dipotong hingga terbentuk sesuai dengan dimensi yang diinginkan.
2. *Fiber carbon woven* dipotong dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran kayu balsa dengan arah serat 45°.
3. Lapisi kayu balsa dengan *fiber carbon* kemudian oleskan resin, ulangi hingga mendapatkan 10 lapisan *layer*.
4. Lapisi spesimen komposit dengan cetakan kaca.
5. Masukkan spesimen kedalam *vacuum bag* dan diamkan spesimen dalam kondisi vacuum selama 12 jam pada suhu kamar hingga mengering.

#### 3.8.2.2 Pengujian Bending

Pengujian spesimen uji bending berdasarkan standar dari “*Standard Test Method for Unreinforced and reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*” D790-84a yang dikeluarkan oleh ASTM. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Spesimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Pencatatan dimensi awal dari spesimen, yaitu :
  - Panjang awal ( $L_0$ )
  - Lebar (b)
  - Tebal (d)
3. Memasang spesimen pada penyangga.



**Gambar 3.15** Contoh Pengujian *Bending*

4. Pembebanan pada spesimen hingga maksimal.
5. Setelah selesai, spesimen dilepas dan diukur kembali dimensinya.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Simulasi

**Tabel 4.1** Spesifikasi Spesimen pada Simulasi

Spesimen	Tebal (mm)	Berat (kg)
<i>Mild Steel</i>	2	2.2754
<i>Sandwich 1 Layer</i>	0.4	0.46583
<i>Sandwich 2 Layer</i>	0.8	0.56583
<i>Sandwich 3 Layer</i>	1.2	0.66583
<i>Sandwich 5 Layer</i>	2	0.86583
<i>Sandwich 7 Layer</i>	2.8	1.06583
<i>Sandwich 10 Layer</i>	4	1.36593

Ket :  Desain spesimen yang dipilih

Berdasarkan hasil simulasi pengujian torsi, spesimen komposit *sandwich 5 layer* sudah memiliki nilai deformasi total yang lebih kecil jika dibandingkan dengan material *mild steel*. Namun pada simulasi pengujian *bending*, nilai deformasi total yang lebih kecil jika dibandingkan dengan spesimen *mildsteel* dimiliki oleh spesimen komposit *sandwich 10 layer*. Tegangan *Von-Mises* maksimum yang dimiliki oleh spesimen komposit *sandwich 10 layer* masih berada dibawah batas aman dan memiliki berat yng lebih ringan jika dibandingkan dengan spesimen *mild steel*. Atas dasar itulah, spesimen komposit *sandwich 10 layer* dipilih sebagai material paling optimal pengganti *chassis mild steel*.

**Tabel 4.2** Hasil Simulasi Uji *Bending* dan Torsi *Mild Steel*

Simulasi Pengujian	Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimum (MPa)	Deformasi Maksimum (mm)	$\theta$ (degree)	<i>Torsional Stiffness</i> (Nm/deg)
<i>Bending</i>	16.737	0.024673	-	-
<i>Torsi</i>	118.94	0.2662	0.29	430.27

**Tabel 4.3** Tegangan *Principal* Maksimum dan Deformasi Maksimum pada Simulasi Uji *Bending*

Jumlah Layer	Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimum (MPa)			Deformasi Maksimum (mm)		
	0°	30°	45°	0°	30°	45°
1	16.261	16.568	16.532	0.084326	0.08296	0.082809
2	15.028	15.295	15.238	0.062962	0.062524	0.062372
3	12.445	12.638	12.594	0.050979	0.050606	0.050476
5	9.9883	10.006	9.9913	0.037503	0.037256	0.037166
7	8.778	8.7939	8.7848	0.030013	0.02983	0.029761
10	7.23569	7.2751	7.2778	0.023439	0.023312	0.023261

**Tabel 4.4** Tegangan *Von-Misses* dan Deformasi Maksimum pada Simulasi Uji Torsi

Jumlah Layer	Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimum (MPa)			Deformasi Maksimum (mm)		
	0°	30°	45°	0°	30°	45°
1	38.974	38.142	37.878	0.6884	0.69969	0.69591
2	26.134	25.775	25.615	0.47083	0.48438	0.48103
3	22.702	22.567	22.391	0.36787	0.3796	0.3767
5	17.97	17.884	17.76	0.25932	0.26831	0.2661
7	14.289	14.224	14.129	0.19933	0.2047	0.20647
10	11.153	11.107	11.033	0.15256	0.15665	0.15799

**Tabel 4.5** Data *Torsional Stiffness* pada Spesimen dengan Arah Serat Karbon 0°

Jumlah Layer	Deformasi (mm)		$\theta$ (degree)	<i>Torsional Stiffness</i> (Nm/deg)
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>		
1	0.29576	0.29587	0.34	371.73
2	0.20132	0.20141	0.23	546.09
3	0.15598	0.15605	0.18	704.86
5	0.10837	0.10834	0.12	1014.82
7	0.08221	0.082019	0.11	1103.42
10	0.061748	0.061914	0.09	1441.15

**Tabel 4.6** Data *Torsional Stiffness* pada Spesimen dengan Arah Serat Karbon 30°

Jumlah Layer	Deformasi (mm)		$\theta$ (degree)	<i>Torsional Stiffness</i> (Nm/deg)
	$Z_1$	$Z_2$		
1	0.3008	0.30093	0.34	365.49
2	0.20581	0.20588	0.24	534.17
3	0.15987	0.15992	0.18	687.66
5	0.11136	0.11132	0.13	987.54
7	0.084572	0.084386	0.12	1074.35
10	0.063523	0.063707	0.09	1403.43

**Tabel 4.7** Data *Torsional Stiffness* pada Spesimen dengan Arah Serat Karbon 45°

Jumlah Layer	Deformasi (mm)		$\theta$ (degree)	<i>Torsional Stiffness</i> (Nm/deg)
	$Z_1$	$Z_2$		
1	0.3025	0.30262	0.35	363.44
2	0.20731	0.2074	0.24	530.30
3	0.16116	0.16124	0.18	682.11
5	0.11235	0.11232	0.13	978.72
7	0.085361	0.085187	0.10	1289.79
10	0.06413	0.064306	0.07	1712.65

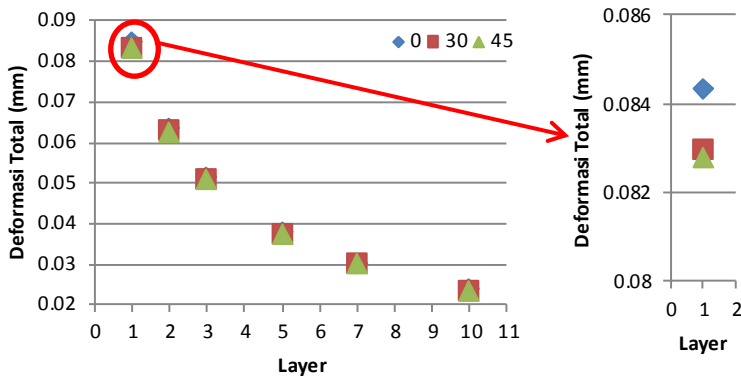
## 4.2 Hasil Pengujian Komposit

Komposit *sandwich* yang dipilih adalah komposit dengan arah serat karbon 45° dan memiliki 10 layer, tebal layer dari komposit tersebut pada setiap sisinya adalah 4 mm dengan berat 0.270 kg. Dilakukan pengujian *bending* dan diketahui bahwa beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 17000 N. Kemudian dilakukan pengujian torsi dengan diberi gaya torsi sebesar 126 N.m. dan material tersebut tidak rusak. Sehingga dapat dibuktikan bahwa spesimen komposit *sandwich* 10 layer mampu menggantikan spesimen *mild steel* sebagai *chassis* kendaraan.

### 4.3 Pembahasan Hasil Simulasi Pengujian *Bending* dan Torsi

#### 4.3.1 Deformasi Total pada Simulasi Pengujian *Bending*

Simulasi pengujian *bending* ini menggunakan sistem pengujian *three point bending* dengan satu bagian spesimen diberi *fix support* dan bagian lainnya diberi *displacement* dengan sumbu  $y = 0$ . Beban *bending* diberikan sebesar 1581,8 Mpa pada bagian tengah spesimen. Pada simulasi ini dihasilkan nilai dari deformasi total yang terjadi



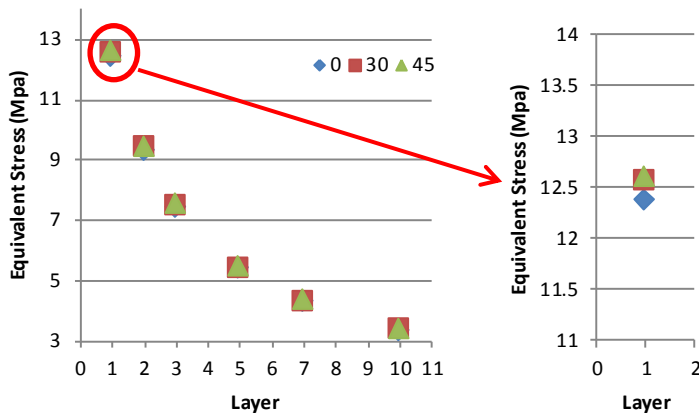
**Gambar 4.1** Perbandingan Deformasi Total dengan Jumlah *Layer* dan Arah Serat Akibat Pengujian *Bending*

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat grafik perbandingan antara deformasi total akibat beban *bending* dengan jumlah *layer* pada serat karbon dengan orientasi arah serat 0°, 30°, dan 45°. Semakin banyak *layer* yang digunakan untuk menyusun spesimen komposit ini maka semakin kecil pula deformasi yang terjadi pada spesimen. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan detail dari grafik deformasi total yang terjadi pada komposit *sandwich* 1 *layer*. Dapat dilihat bahwa deformasi paling kecil yang terjadi terletak pada komposit *sandwich* dengan arah serat 45° di setiap variasi *layer* yang diberikan. Sedangkan deformasi paling besar adalah ketika menggunakan komposit *sandwich* dengan arah serat 0° di setiap variasi *layer* yang diberikan. Nilai maksimal deformasi

yang terjadi adalah 0.084326 mm dan nilai minimal deformasi yang terjadi adalah 0.023261 mm. Dilihat dari deformasi total yang terjadi, komposit *sandwich* dengan jumlah *layer* sebanyak 10 *layer* mampu digunakan sebagai pengganti spesimen dengan material *mild steel* karena memiliki nilai deformasi yang lebih rendah. Penggunaan material komposit *sandwich* 10 *layer* ini mampu menurunkan deformasi total yang terjadi sebanyak 5.7%.

#### 4.3.2 Tegangan *Principal* Maksimum pada Simulasi Pengujian *Bending*

Selain deformasi total yang terjadi, pada simulasi dapat ditampilkan distribusi tegangan dan nilai tegangan *principal* maksimal yang dihasilkan dari spesimen yang diberi beban *bending*.



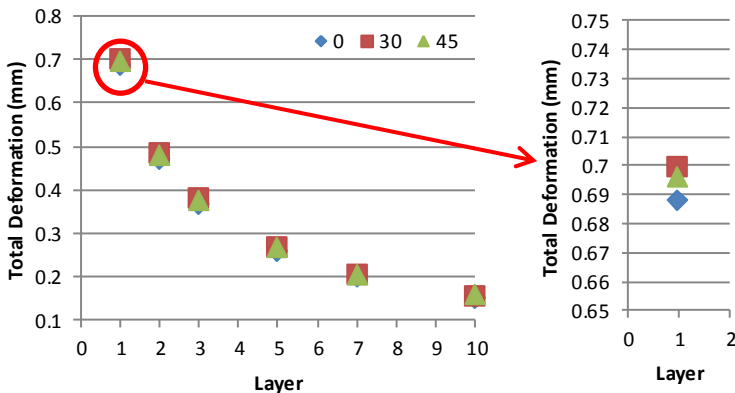
**Gambar 4.2** Perbandingan Tegangan Maksimum *Principal* dengan Jumlah *Layer* dan Arah Serat Akibat Pengujian *Bending*

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat grafik perbandingan antara tegangan maksimum *principal* akibat beban *bending* dengan jumlah *layer* pada serat karbon dengan orientasi arah serat 0°, 30°, dan 45°. Semakin banyak *layer* yang digunakan untuk menyusun spesimen komposit ini maka semakin kecil pula tegangan yang

ada pada spesimen. Pada Gambar 4.2 ditunjukkan detail dari grafik tegangan maksimum *principal* yang terjadi pada komposit *sandwich* 1 layer. Dapat dilihat bahwa nilai tegangan paling kecil yang terjadi terletak pada komposit *sandwich* dengan arah serat  $0^\circ$ . Sedangkan nilai tegangan paling besar adalah ketika menggunakan komposit *sandwich* dengan arah serat  $30^\circ$ . Nilai maksimal tegangan *principal* terbesar yang terjadi adalah 12.611 Mpa dan nilai maksimal tegangan *principal* terkecil yang terjadi adalah 3.3429 Mpa. Dilihat dari tegangan maksimum *principal* yang dihasilkan, spesimen komposit *sandwich* ini masih berada dibawah batas aman.

#### 4.3.3 Deformasi Total pada Simulasi Pengujian Torsi

Simulasi pengujian torsi pada *software finite element analysis* ini dilakukan dengan cara memberi salah satu ujung spesimen dengan *fix support* dan ujung lainnya diberi gaya *moment*. Gaya yang diberikan sebesar 126 N.m. Pada simulasi ini dihasilkan nilai dari deformasi total yang terjadi.



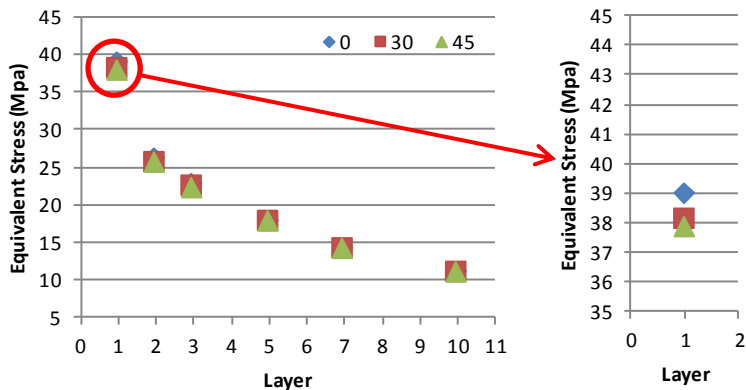
**Gambar 4.3** Perbandingan Deformasi Total dengan Jumlah *Layer* dan Arah Serat Akibat Pengujian Torsi

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat grafik perbandingan antara deformasi total akibat beban torsi dengan jumlah *layer* pada serat

karbon dengan orientasi arah serat  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $45^\circ$ . Semakin banyak *layer* yang digunakan untuk menyusun spesimen komposit ini maka semakin kecil pula deformasi yang terjadi pada spesimen. Pada Gambar 4.3 ditunjukkan detail dari grafik deformasi total yang terjadi pada komposit *sandwich* 1 *layer*. Dapat dilihat bahwa deformasi paling kecil yang terjadi terletak pada komposit *sandwich* dengan arah serat  $0^\circ$  sedangkan deformasi paling besar adalah ketika menggunakan komposit *sandwich* dengan arah serat  $30^\circ$ . Nilai deformasi total paling besar yang terjadi adalah 0.69969 mm dan nilai deformasi total paling kecil yang terjadi adalah 0.15256 mm. Dilihat dari deformasi total yang terjadi, komposit *sandwich* dengan jumlah *layer* sebanyak 5 *layer* sudah memiliki nilai deformasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan material *mild steel* dengan dimensi yang sama. Penggunaan komposit *sandwich* dengan 5 *layer* ini dapat menurunkan nilai deformasi yang terjadi hingga 2.5%.

#### 4.3.4 Tegangan *Von-Mises* pada Simulasi Pengujian Torsi

Selain deformasi total yang terjadi, pada simulasi dapat ditampilkan distribusi tegangan dan nilai tegangan *von-Mises* maksimal yang dihasilkan dari spesimen komposit *sandwich* yang diberi beban torsi



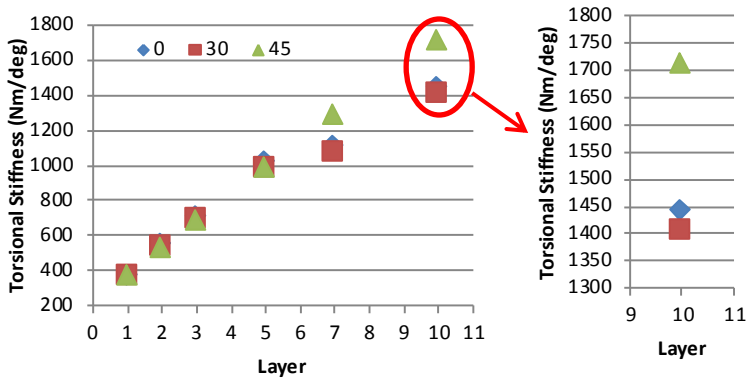
**Gambar 4.4** Perbandingan Tegangan Maksimum *Von-Misses* dengan Jumlah *Layer* dan Arah Serat Akibat Pengujian Torsi

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat grafik perbandingan antara tegangan *von-Mises* akibat beban *bending* dengan jumlah *layer* pada serat karbon dengan orientasi arah serat  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $45^\circ$ . Semakin banyak *layer* yang digunakan untuk menyusun spesimen komposit ini maka semakin kecil pula tegangan yang ada pada spesimen. Pada Gambar 4.4 ditunjukkan detail dari grafik tegangan maksimum *von-Mises* yang terjadi pada komposit *sandwich* 1 *layer*. Dapat dilihat bahwa nilai tegangan paling kecil yang terjadi terletak pada komposit *sandwich* dengan arah serat  $45^\circ$  di setiap variasi jumlah *layer* yang diberikan. Sedangkan nilai tegangan paling besar adalah ketika menggunakan komposit *sandwich* dengan arah serat  $0^\circ$  di setiap variasi jumlah *layer* yang diberikan. Nilai maksimal tegangan *von-Mises* yang terjadi adalah 38.974 Mpa dan nilai minimal tegangan *von-Mises* yang terjadi adalah 11.033 Mpa. Dilihat dari tegangan maksimum *von-Mises* yang dihasilkan, spesimen komposit *sandwich* ini masih berada dibawah batas aman.

#### 4.3.5 *Torsional Stiffness* pada Simulasi Pengujian Torsi

Selain deformasi total dan tegangan ekuivalen *von-Mises* yang diketahui dari simulasi, kekakuan suatu material untuk menahan beban torsi atau biasa disebut dengan *torsional stiffness* juga digunakan untuk menentukan spesimen paling optimal yang akan dipilih sebagai bahan pembuat *chassis* kendaraan.





**Gambar 4.5** Perbandingan *Torsional Stiffness* dengan Jumlah *Layer* dan Arah Serat Akibat Pengujian Torsi

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat grafik nilai *torsional stiffness* pada spesimen komposit dengan 3 variasi arah serat dan 6 variasi jumlah *layer*. Komposit *sandwich* dengan arah serat 0° dan 30° mengalami peningkatan nilai *torsional stiffness* secara konstan, namun pada spesimen dengan 7 *layer* dan 10 *layer*, kenaikan nilai *torsional stiffness* yang terjadi tidak terlalu signifikan berbeda dengan komposit *sandwich* dengan arah serat 45° yang mengalami kenaikan terus menerus secara konstan seiring dengan bertambahnya *layer* pada komposit. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 bahwa nilai *torsional stiffness* paling tinggi yang dimiliki oleh spesimen komposit *sandwich* dengan *layer* berjumlah 10 adalah spesimen dengan arah serat 45°.

Pada simulasi tidak bisa didapatkan nilai *torsional stiffness* secara langsung, namun nilai tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{F \times d}{\tan^{-1}\left(\frac{z_1 + z_2}{2b}\right)}$$

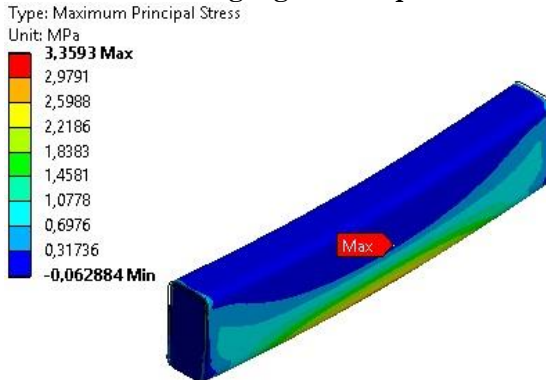
Nilai torsi merupakan sebuah variabel yang sudah ditentukan sebelumnya, sedangkan nilai  $z_1$  dan  $z_2$  merupakan defleksi vertikal atau defleksi pada arah sumbu  $y$  yang terjadi pada

spesimen, nilai tersebut diperoleh dari hasil *directional deformation* pada simulasi pengujian torsi.

Karena spesimen yang memiliki nilai paling optimal ketika diberi beban *bending* dan torsi memiliki arah serat yang berbeda, maka untuk memilih spesimen paling optimal yang dapat digunakan sebagai *chassis* kendaraan dapat dilihat pada spesimen dengan nilai *torsional stiffness* yang paling tinggi. Setelah diketahui nilai *torsional stiffness*-nya, maka dipilih spesimen komposit *sandwich* 10 layer dengan arah serat  $45^\circ$ .

#### 4.4 Analisis Gambar Hasil Simulasi Uji *Bending*

##### 4.4.1 Analisis Gambar Tegangan *Principal*



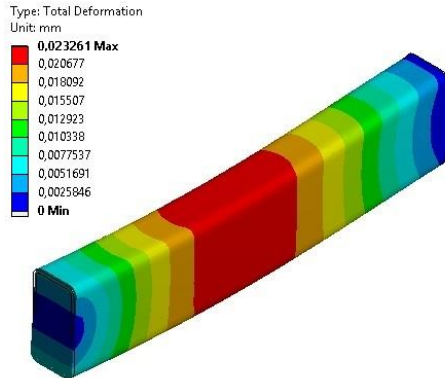
**Gambar 4.6** Hasil Simulasi Tegangan *Principal* Maksimum Akibat Beban *Bending*

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software finite element analysis*, diketahui distribusi tegangan pada spesimen komposit 10 layer serat karbon dengan arah serat  $45^\circ$  akibat beban *bending* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Beban yang diberikan sebesar 1581,8 N pada bagian tengah spesimen, dapat dilihat bahwa tegangan *principal* maksimum terletak di bagian bawah spesimen yang dikenai gaya, sebesar 3.3593 Mpa. Sedangkan tegangan *principal* minimal terletak pada bagian atas

spesimen yang mengalami kontak langsung dengan gaya yang diberikan.

Spesimen komposit dengan 1 layer hingga 10 layer memiliki gambar distribusi tegangan yang hampir sama hanya nilainya saja yang berbeda, semakin banyak *layer* maka semakin kecil nilai tegangan maksimalnya. Tegangan *principal* maksimal yang terjadi pada spesimen hasil simulasi masih berada dibawah tegangan maksimum pada komposit sehingga menunjukkan bahwa desain spesimen komposit yang digunakan memiliki kekuatan yang cukup baik dan aman. Spesimen komposit pada simulasi ini 82% lebih ringan dibandingkan dengan *mild steel* yang biasa digunakan sebagai *chassis* dengan dimensi yang sama.

#### 4.4.2 Analisis Gambar Deformasi Total



**Gambar 4.7** Hasil Simulasi Deformasi Total Akibat Beban *Bending*

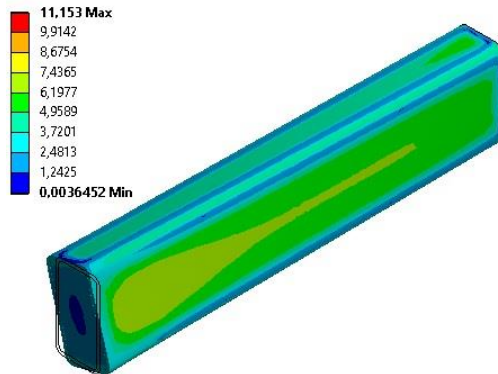
Selain tegangan *von-Mises*, dari hasil simulasi menggunakan *software finite element analysis* dapat diketahui pula deformasi total yang terjadi pada spesimen akibat beban *bending* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Spesimen komposit dengan 1 layer hingga 10 layer memiliki gambar deformasi total yang hampir sama hanya nilainya saja yang

berbeda, semakin banyak layer maka semakin kecil nilai deformasi total yang terjadi. Deformasi maksimal berada pada bagian tengah spesimen dengan nilai sebesar 0,023261 mm. Bagian yang mengalami deformasi maksimal merupakan bagian dari spesimen yang mengalami kontak langsung dengan gaya yang diberikan. Sedangkan deformasi minimal berada pada bagian ujung spesimen yang diberi *fix support*. Deformasi total yang terjadi pada spesimen komposit ini turun sebesar 5,7% dibandingkan dengan mild steel yang biasa digunakan sebagai *chassis* dengan dimensi yang sama.

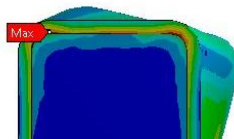
## 4.5 Analisis Gambar Hasil Simulasi Uji Torsi

### 4.5.1 Analisis Gambar Tegangan *Von-Misses*

Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa



(a)



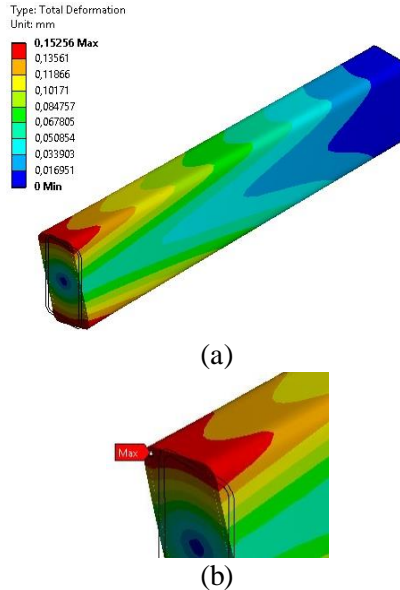
(b)

**Gambar 4.8** Hasil Simulasi (a) Tegangan *Von-Misses* Skibat Beban Torsi. (b) Detail Tegangan *Von-Misses* dengan Perbesaran 0.5x.

Hasil simulasi tegangan *Von-Mises* akibat beban torsi pada *software finite element analysis* dengan tipe spesimen yang sama seperti yang digunakan pada simulasi pengujian *bending* dapat dilihat pada Gambar 4.8 (a). Gaya torsi yang diberikan pada spesimen sebesar 126 Nm. Pada Gambar 4.8 (b) dapat dilihat bahwa tegangan *equivalent von-Mises* maksimal terletak di tempat yang sama seperti pada pengujian *bending* yaitu pada *connection* antara *fiber carbon* dan kayu balsa pada bagian spesimen yang diberi *fix support* dengan nilai tegangan sebesar 11,153 Mpa.

Spesimen komposit dengan 1 *layer* hingga 10 *layer* memiliki gambar distribusi tegangan yang hampir sama hanya nilainya saja yang berbeda, semakin banyak *layer* maka semakin kecil nilai tegangan maksimalnya. Tegangan *equivalent von-Mises* maksimal yang terjadi pada spesimen hasil simulasi masih berada dibawah tegangan maksimum pada komposit sehingga menunjukkan bahwa desain spesimen komposit yang digunakan memiliki kekuatan yang cukup baik dan aman.

#### 4.5.2 Analisis Gambar Deformasi Total

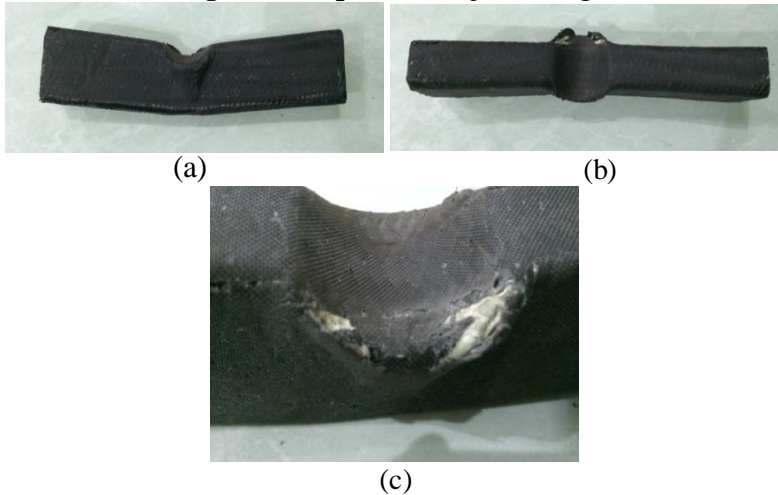


**Gambar 4.9** Hasil Simulasi (a) Deformasi Total Akibat Beban Torsi. (b) Detail Deformasi Maksimal dengan Perbesaran 0.5x.

Selain tegangan *von-Misses*, dari hasil simulasi menggunakan *software finite element analysis* dapat diketahui juga deformasi total yang terjadi pada spesimen akibat beban torsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 (a). Spesimen komposit dengan 1 *layer* hingga 10 *layer* memiliki gambar deformasi total yang hampir sama hanya nilainya saja yang berbeda, semakin banyak *layer* maka semakin kecil nilai deformasi total yang terjadi. Deformasi maksimal berada pada bagian ujung spesimen yang dikenai gaya torsi dengan nilai sebesar 0,15156 mm, ditunjukkan pada Gambar 4.9 (b). Sedangkan deformasi minimal berada pada bagian ujung spesimen yang diberi *fix support*. Deformasi total yang terjadi pada spesimen komposit ini turun sebesar 40% dibandingkan

dengan *mild steel* yang biasa digunakan sebagai *chassis* dengan dimensi yang sama.

#### 4.6 Hasil Pengamatan Spesimen Uji *Bending* dan Torsi



**Gambar 4.10** Foto Makro Spesimen Hasil Pengujian *Bending*.  
(a) Tampak Samping. (b) Tampak Atas. (c) Detail Deformasi.

Setelah dilakukan simulasi hingga menemukan material yang paling optimal untuk digunakan sebagai *chassis* kendaraan maka dilakukan sebuah eksperimen untuk membandingkan hasil dari pengujian simulasi dengan yang sebenarnya. Komposit *sandwich* yang dipilih adalah komposit dengan arah serat karbon  $45^{\circ}$  dan memiliki 10 *layer*, tebal *layer* dari komposit tersebut pada setiap sisinya adalah 4 mm dengan berat 0.270 kg. Pada Gambar 4.10 (a) dan (b) merupakan hasil foto dari spesimen komposit *sandwich* 10 *layer* dengan arah serat karbon  $45^{\circ}$  setelah dikenai uji *bending*. Pada gambar 4.10 (c) dapat dilihat bahwa terdapat beberapa serat karbon yang putus atau disebut dengan *fiber pull out*, hal itu dapat dikarenakan penguat dari komposit tersebut tercabut akibat tidak kuat dalam menerima

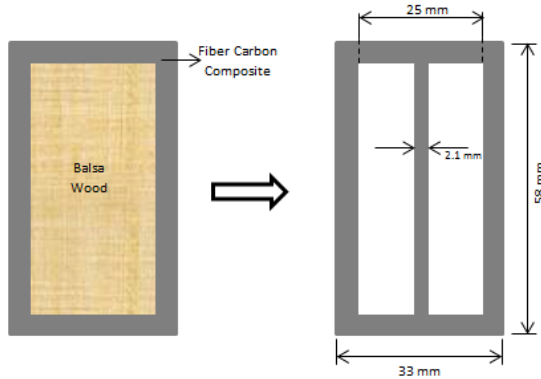
beban *bending* dari pengujian yang dilakukan. Sedangkan pada bagian sisi yang menerima beban tarik hanya mengalami deformasi yang kecil. Beban maksimum yang dapat diterima oleh spesimen yaitu sebesar 17000 N.

Kemudian untuk mencari nilai tegangan yang dialami oleh spesimen tersebut, diberikan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M \times c}{I_{tot}}$$

Untuk menghitung inersia total maka *core* yang terbuat kayu balsa dianggap memiliki sifat yang sama dengan komposit serat karbon yang digunakan, untuk itu perlu merubah lebar dari kayu balsa menjadi lebih kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$b_{fcc} = nb_{bw} = \frac{E_{bw}}{E_{fcc}} = \frac{3.719 \text{ GPa}}{43.203 \text{ GPa}} (25 \text{ mm}) = 2.1 \text{ mm}$$



**Gambar 4.11** Transformasi *Section* Kayu Balsa menjadi Satu Bagian yang Terbuat dari Komposit Serat Karbon

Sehingga,

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$$



$$I_{tot} = \left[ \frac{(0.033 \text{ m})(0.058 \text{ m})^3}{12} \right] + \left[ \frac{(0.025 \text{ m})(0.050 \text{ m})^3}{12} \right] + \left[ \frac{(0.021 \text{ m})(0.050 \text{ m})^3}{12} \right]$$

$$I_{tot} = 8.19392 \times 10^{-7}$$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{FL}{4}\right)\left(\frac{h}{2}\right)}{I_{tot}}$$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{17000 \text{ N} \times 0.20 \text{ m}}{4}\right)\left(\frac{0.058 \text{ m}}{2}\right)}{8.19392 \times 10^{-7}}$$

$$\sigma = 30083286.76 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma = 30.08 \text{ Mpa}$$

**Tabel 4.8** Perbandingan Antara Spesimen Simulasi dengan Eksperimen

Keterangan	Eksperimen	Simulasi
<b>Force (N)</b>	17000	17000
<b>Dimensi (mm)</b>	58 x 33 x 200	58 x 33 x 200
<b>Massa (kg)</b>	0.270	0.314
<b>Stress (Mpa)</b>	30.08	34.75

Berdasarkan data yang tertulis pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa massa spesimen pada eksperimen turun sebesar 12% jika dibandingkan dengan simulasi. Sedangkan tegangan yang terjadi naik sebesar 32% jika dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan *software finite element* pada pengujian *bending*.

Terjadinya perbedaan massa antara spesimen yang digunakan untuk eksperimen dengan simulasi dapat dikarenakan komposisi resin yang digunakan pada eksperimen tidak sama dengan yang ada pada simulasi. Sedangkan perbedaan tegangan yang terjadi pada simulasi dengan eksperimen dapat dipengaruhi karena adanya ketidak akuratan dalam pengukuran dimensi

spesimen pada eksperimen sehingga mempengaruhi perhitungan tegangan yang terjadi. Kemudian dilakukan pengujian torsi dengan diberi gaya torsi sebesar 126 N.m. dan material tersebut tidak rusak. Sehingga dapat dibuktikan bahwa spesimen komposit *sandwich 10 layer* mampu menggantikan spesimen *mild steel* sebagai *chassis* kendaraan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Nilai deformasi total pada pengujian *bending* paling kecil terjadi pada spesimen komposit *sandwich 10 layer* dengan arah serat  $45^{\circ}$  yaitu sebesar 0.39637 mm. Sedangkan pada pengujian torsi nilai deformasi total paling kecil terjadi pada spesimen komposit *sandwich 10 layer* dengan arah serat  $0^{\circ}$  yaitu sebesar 0.15256 mm.
2. Nilai tegangan *principal* maksimum pada pengujian *bending* paling kecil terjadi pada spesimen komposit *sandwich 10 layer* dengan arah serat  $0^{\circ}$  yaitu sebesar 3.3429 Mpa. Sedangkan pada pengujian torsi nilai tegangan ekuivalen *Von-Mises* paling kecil terjadi pada spesimen komposit *sandwich 10 layer* dengan arah serat  $45^{\circ}$  yaitu sebesar 11.033 MPa.
3. Berdasarkan arah serat, jumlah *layer*, dan nilai *torsional stiffness*, spesimen yang paling optimal pada simulasi pengujian *bending* dan torsi adalah komposit *sandwich 10 layer* arah serat  $45^{\circ}$  dengan nilai *torsional stiffness* sebesar 1712.65 Nm/deg.
4. Penggunaan komposit *sandwich 10 layer* dengan arah serat karbon  $45^{\circ}$  sebagai material pengganti *chassis mild steel* mengalami penurunan deformasi total ketika dikenai beban *bending* sebesar 11% dan mengalami penurunan deformasi total ketika dikenai beban torsi sebesar 40.6%. Penurunan tegangan ekuivalen *Von-Mises* ketika dikenai beban torsi sebesar 90.7%. Sedangkan nilai *torsional stiffness* meningkat hingga 4 kali lipatnya.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang penulis berikan untuk menunjang penelitian ini adalah:

1. Arah susunan lamina pada satu *stackup* dapat divariasikan sehingga material komposit yang dihasilkan akan lebih optimal.
2. Perlu diperhatikan berat maksimal komposit yang diinginkan sehingga ketika melakukan penambahan *layer* untuk mencapai kekuatan yang diinginkan, spesimen yang dihasilkan tidak lebih berat dibandingkan dengan material yang biasa digunakan sebagai *chassis*.
3. Pada saat pembuatan spesimen pastikan dimensi yang dibuat tepat dan tidak ada kelebihan ataupun kekurangan resin pada spesimen sehingga hasil pengujian yang dilakukan bisa lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atas, Cesim&Cenk Sevim. 2010. "On the impact response of sandwich composites with cores of balsa wood and PVC foam". **Composite Structures** 93, 40-48.
- [2] Mohammadi, Meisam Shir&John A Nairn. 2014. "Crack Propagation and Fracture Toughness of Solid Balsa Used for Cores of Sandwich Composites". **Journal of Sandwich Structures and Materials**, 16, 22-41.
- [3] Antwi, Michael Osei. Et al. 2014. "Analytical modelling of local stresses at balsa/timber core joints of FRP sandwich structures". **Composites Structures**.
- [4] Uriya, Yu. 2014. "Cold and warm V-bending test for carbon-fiber-reinforced plastic sheet". **Procedia Engineering** 81, 1633-1638.
- [5] Jover, N. et al. 2014. "Ballistic impact analysis of balsa core sandwich composites". **Composites: Part B** 67, 160-169.
- [6] Gibson, Ronald F. 1994. **Principles of Composites Material Mechanics**. Detroit: McGraw-Hill, Inc.
- [7] Mazumdar, Sanjay K. 2002. **COMPOSITES MANUFACTURING: Material, Product, and Process Engineering**. USA: CRC Press.
- [8] Annual Book of ASTM Standards, D790M-84a. 1984. **Standard Test Method for Flexural and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Metric)**, American Society for Testing and Materials.
- [9] Ismail Bin Hj Musa. 2009. **Static and Dynamic Analysis of a Frame Truck Chassis**. Faculty of Mechanical Engineering Universiti Teknologi Malaysia.



## BIODATA PENULIS



Astasari adalah anak kedua dari tiga bersaudara yang berasal dari Surabaya. Lahir di Surabaya, 17 Juli 1994. Semasa hidupnya, dimulai dari TK Islam Mutiara yang kemudian pindah ke TK Pembina, SDN Kertajaya XIII/No. 219, SMP Negeri 1 Surabaya, SMA Negeri 2 Surabaya, hingga Institut Teknologi Sepuluh Nopember, khususnya Jurusan Teknik Mesin FTI penulis arungi di kota Pahlawan, kota kelahirannya, sebagai tempat untuk

menimba ilmu.

Sejak SMP, penulis aktif di kegiatan Marching Band dalam sebuah klub bernama DC Arek Suroboyo. Penulis pernah meraih beberapa gelar sebagai *Best Field Commander* dan *Best Drum Major* di kejuaraan yang diikuti baik di tingkat Kota maupun Provinsi. Selama perkuliahan, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi dan kepanitiaan. Saat tahun kedua perkuliahan, penulis aktif sebagai staf di Badan Semi Otonom *Big Event*, Himpunan Mahasiswa Mesin FTI ITS. Kemudian penulis dipercaya sebagai Bendahara *event* besar yang diadakan Himpunan Mahasiswa Mesin FTI ITS, *Mechanical City 2015*, di tahun ketiga perkuliahan. Karena kecakapan yang dimiliki, beberapa kali penulis dipercaya untuk menjadi MC pada acara-acara yang ada di ITS seperti saat kuliah tamu, Upacara Pembukaan IEMC dan *Launching Tour de Java*.

Agar ilmu yang didapat di perkuliahan lebih aplikatif, penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Pupuk Kalimantan Timur, Bontang selama satu bulan dan magang di PT. Unilever Indonesia selama satu bulan. Untuk menunjukkan dedikasinya ke Teknik Mesin ITS, penulis menjadi asisten Laboratorium Metalurgi dari tahun ketiga hingga tahun terakhir masa perkuliahannya.

*Don't hesitate to contact me through [astasaritasa@gmail.com](mailto:astasaritasa@gmail.com)*